

건설산업동향

린 건설에 기초한 국내 건설 공사의 시공 계획 신뢰도 평가

구본상

2007. 5. 4

- 서론 4
- 예비적 고찰 6
- 적용 현장 개요 및 분석 결과 12
- 적용 시사점 21
- 결론 26

요 약

- ▶ 린 건설은 상세공정 단위에서 시공 계획 신뢰도를 측정하고 작업 지연 사유 분석을 통해 지속적 개선체계를 구축하여 생산성을 향상시키는 것을 중시함.
 - 린 건설은 생산성의 저하 요인의 근본적인 원인을 수행 작업에 대한 올바른 계획 수립 및 이행 미흡으로 보고 있음.
 - 이를 위해서 성과 위주가 아닌 신뢰도 위주의 일일 작업 계획 수립 및 평가를 중시함.
- ▶ 이에 본 연구에서는 린 건설에서 제시하는 일일 작업 관리 방식을 국내 건축, 토목 및 플랜트 현장에 적용하여 각 2주간 신뢰도를 측정하고, 작업 지연 사유를 취합하여 신뢰도 저하 요인을 도출하였음.
 - 신뢰도는 전날 수행 계획 작업 중 당일 수행 완료한 작업의 백분율인 일일 작업신뢰도 (PPC)와 2일 전 계획 작업 중 당일 수행 완료한 작업의 백분율인 2일 기준 작업신뢰도 (PAT)를 측정하였음.
- ▶ 그 결과 3개 현장의 일일 작업신뢰도(PPC)는 평균 79%, 2일 기준 작업신뢰도(PAT)는 16%이었음.
 - 건축 공사의 경우, PPC는 76%, 2일 기준 PAT는 10%가 나왔음.
 - 토목공사의 경우, PPC는 85%, 2일 기준 PAT는 13%가 나왔음.
 - 플랜트 공사의 경우, PPC는 78%, 2일 기준 PAT는 25%가 나왔음.
- ▶ PPC는 비교적 높게 나왔으나 2일 기준 PAT가 낮게 나온 것은 단기 계획의 올바른 수립 및 실행 능력이 부족하다는 점을 시사해줌.
 - 외국의 경우 5일 기준 PAT를 측정한 결과 20~30%의 평균을 보인 반면, 국내 3개 현장에서 2일 기준 PAT의 평균은 16%에 불과했음.
- ▶ 주된 작업 지연 사유는 '계획 변경' 및 '준비 작업'이 가장 많은 것으로 드러났음. 이는 참여 주체들 간 전체 프로세스에 대한 조율 작업 능력 및 사전 작업을 미리 인지하고 수행하는 능력이 외국에 비해 뒤처진다는 것을 보여줌.
 - 외국에서 '계획 변경'(Directive/Plan)에 대한 작업 지연 사유의 비중은 23%인 데 비해, 국내 3개 현장에서는 무려 49%를 차지했음.
 - 외국에서 '준비 작업'(Prerequisite)에 대한 비중은 13%인 데 비해 국내 3개 현장에서는 23%를 차지했음.
- ▶ 국내 현장의 경우, 프로세스에 대한 사업 참여자들의 주체 의식 고양, 린 건설 이행을 위한 인력의 교육 및 양성을 통해 신뢰도 위주의 운영 방식으로 전환함으로써 현장 생산성의 제고가 가능할 것으로 사료됨.

■ 서론

연구의 배경 및 목적

- 건설사업의 성패는 현장을 어떻게 효율적으로 운영하느냐에 따라 결정된다고 볼 수 있음.
·하지만 많은 경우 현장 운영을 공기 및 손익계산 위주의 결과 중심으로 관리하는 데에 중점을 두고 있으며, 과정상에서 생기는 비가치 창출(Non-Value Added)작업이나 낭비요소들에 대한 관리는 간과되고 있는 실정임.
- 린 건설(Lean Construction) 방식은 도요타 생산 방식(Toyota Production System : TPS)을 건설 프로세스에 특성화한 혁신 기법으로서 성과 중심이 아닌 신뢰도(reliability) 위주의 관리를 통해 과정상에 내재된 변이성(variability)을 줄임으로써 생산성을 향상시키는 것을 강조하는 방식임.
·린 건설에서는 상세공정 단위에서 일일 작업신뢰도(Percent Planned Complete: PPC)를 측정하고 작업 지연 사유를 분석하여 현장에서 자체적으로 지속적 개선(Kaizen) 체계를 구축하는 것이 가장 기본이 됨.
- 그러나 국내 기존 린 건설에 관한 연구들은 가치 흐름 맵핑(Value Stream Mapping)작성을 통하여 기존 프로세스의 문제점을 발견하거나¹⁾, ‘택트’(TACT)공법을 적용하여 업체들의 공정 사이클을 같은 시간으로 맞추어 선후행 작업이 연속적으로 진행될 수 있도록 하는 사례²⁾, 그리고 린 건설 도입을 위한 국내 공정관리 체계의 개선 방안에 관한 연구 등임³⁾.

1) 신봉수·김창덕(2004), 건설공사 적시생산(Just-In-Time)을 위한 조달시스템 개발, 한국건설관리학회 논문집, 한국건설관리학회, 제5권, 제6호, pp. 235-244.

2) 서상욱 외 4인(2003), TACT공정관리 시스템 개발 및 적용 사례, 한국건설관리학회 논문집, 한국건설관리학회, 제4권, 제4호, pp. 145-154.

3) 임철우·유정호·김창덕(2006), 작업성취율 측정을 위한 공정관리절차의 개선 방안, 대한건축학회 논문집(구조계), 대한건축학회, Vol. 22, No. 11, pp. 722-726.

- 즉, 현장에서 직접 신뢰도를 일일 단위로 측정하고 그로부터 나온 작업 지연 사유를 토대로 문제점을 인지하고 개선점을 도출한 사례는 찾기 어려움.
- 이에 본 연구에서는 국내 건축, 토목 및 플랜트 현장에 실제로 일일 단위에서 린 건설 방식을 적용한 방법 및 결과를 소개함.
- 본 사례들을 통해 국내 현장의 PPC가 공사 성격에 따라 어느 정도 수준인지, 그리고 작업 지연 사유들은 어떤 종류의 것인지를 구체적으로 살펴볼 수 있음.
- 또한 해외에서 사용된 린 건설 절차 및 시스템을 그대로 적용하였으므로, 외국과 국내의 현장 운영상의 문제점을 객관적으로 비교 분석할 수 있었고, 국내 현장에서 린 건설을 도입하는 데 있어서 개선되어야 할 사항들을 제시할 수 있음.

연구의 범위 및 방법

- 적용 대상은 국내 도급순위 5위 안에 드는 일반건설업체 A사의 국내 건축(주상복합아파트), 토목(도로 공사), 플랜트(알킬레이션) 현장을 선정하였고 각 공사에서 특정 공구 또는 팀에 국한하였음.
- 각 현장에서는 2~3주간 향후 작업에 대한 계획 수립을 위해 프로세스 매핑(Process Mapping)을 하였고, 2주간 일일 작업 회의를 진행하였으며, 2주 후에는 신뢰도 및 작업 지연 사유를 통해 문제점을 도출하고 원인 분석을 하여 개선 방안을 제시하였음.
- 본 연구에서 사용된 시스템은 미국의 Strategic Project Solutions(SPS)사가 개발한 SPS Production Manager(SPS PM)라는 웹 기반 툴로서, 외국 대규모 현장에서 여러 해 동안 다수의 프로젝트에 실제로 쓰이면서 현장 현실에 맞게 구현된 시스템임⁴⁾.

4) 구분상 박희성·장철기·김대영(2006), 린 건설과 해외 대규모 건설 공사 적용 사례: 런던 히드로공항, 대한건축학회 논문집(구조계), 대한건축학회, Vol. 22, No. 7, pp. 141-148.

- 특히 본 시스템을 사용하면서 PPC와 더불어 ‘x일 기준 작업신뢰도’(Percentage Anticipated Task: ‘PAT’)라는 새로운 신뢰도 측정지표도 적용하였음.
- PPC는 하루 전 계획 대비 실적을 측정하는 신뢰도 지표인 반면에 x일 기준 PAT는 x일 전에 계획했던 작업을 당일 일일 작업 계획서(Production Plan)에 포함시키는지를 측정하는 지수임. 즉, x일 기준 PAT는 1~2주 단기 계획에 대한 실천 능력을 평가하는데 사용되어, 국내 현장에서 계획 능력을 측정하는 데 중요한 지표가 됨.

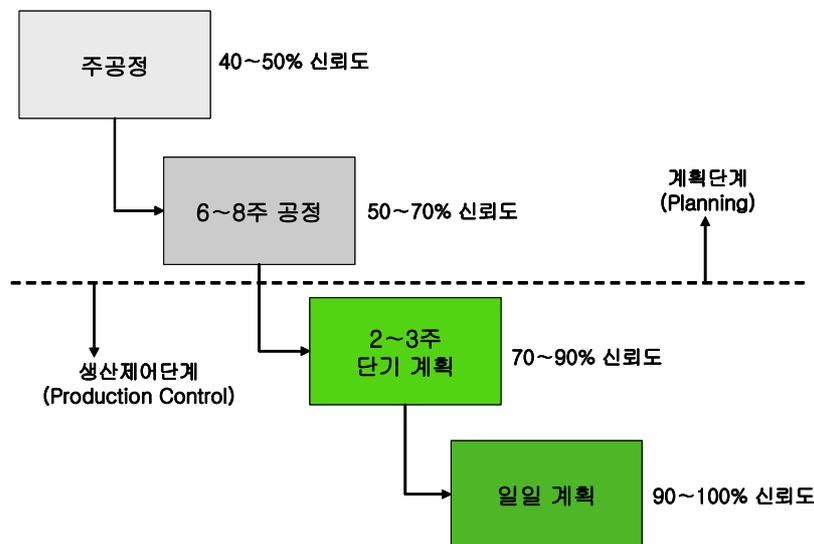
■ 예비적 고찰

이론적 고찰

- 린 건설방식은 도요타 생산 방식을 건설 프로세스에 특성화한 생산 기법으로서 성과 중심이 아닌 신뢰도 위주의 관리를 통해 변이성(variability)을 줄여 생산성을 향상시키는 것을 강조하는 혁신 기법임.
- 린 건설은 현행 프로젝트 관리 방식에 대한 문제점의 인식에서 출발하는데 성과 위주의 현장 운영이 실제로 현장 작업 주체들 간의 협업에 도리어 방해가 될 수 있다는 것임⁵⁾.
- 즉, 각 사업 주체가 개별 계획에만 치중하는 ‘칸막이식’ 운영을 하는데 이것이 전체 프로젝트로 봤을 때 궁극적으로 공기과 비용의 증가를 초래한다는 것임.
- 이를 위해서 린 건설은 각 주체들이 현장에서 행하고 있는 상세 공정 단위에서의 작업들에 대한 신뢰도가 중요하다고 봄.
- 신뢰도가 높아야 사업 주체들 간에 존재하는 변이성을 줄일 수 있다고 보는 것임. <그림 1>에서 보듯이, 린 건설에서는 2~3주 단기 계획의 신뢰도는 70~90%, 그리고 PPC는 90% 이상을 목표로 하고 있음.

5) Koskela, L. 1992. "Application of the New Production Theory to Construction." Technical Report #72, , Stanford University.

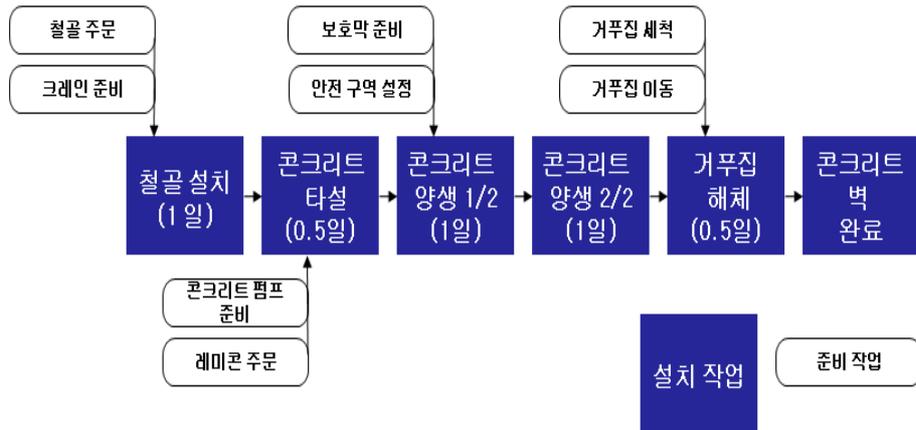
- 린 건설은 신뢰도 위주의 현장 운영을 위해 여러 가지 방법을 제시함.
- 우선 사업 주체들이 함께 상세 공정 계획의 표현 및 관리를 CPM 공정 기법이 아닌 작업흐름(Workstream)으로 표현하는 것임. 상세 공정을 관리하려면 실제 설치 작업 외에 그와 수반되는 여러 준비 작업의 관리도 필수적인데 이를 CPM으로 표현하기에는 부족하다는 것임⁶⁾.
- <그림 2>와 같이 설치작업과 준비작업을 제약 분석을 통해 구분하고 작업흐름으로 표현하는 것이다. 또한 각 작업의 크기를 일일 단위로 끊어서(즉, 하루에 완성할 수 있는 작업량) 표현하도록 함.



<그림 1> 상세 공정 단위에서의 신뢰도 목표치

- 이렇게 구축된 작업흐름을 기초로 해서 일일 작업 회의 진행시 준비 작업들을 우선적으로 이행해 나가도록 함. 또한 확실히 완성 가능한 작업들만 일일 작업 계획서(Production Plan)에 포함하고, 여러 작업을 시작하는 것보다 한 가지 작업을 완성하는 데에 자원을 집중할 수 있도록 함.

6) Tommelein, I. D., and Ballard, G. (1997). "Coordinating Specialists." Tech. Report Nr. 97-8, Constr. Engrg. and Mgmt. Program, Civil and Envir. Engrg. Dept., Univ. of California, Berkeley, CA.



<그림 2> 작업흐름 예시 (콘크리트 벽 설치)

·신뢰도를 측정할 때도 시작이 아닌 완성된 작업들만을 기준으로 함.
 또한 계획된 작업 중 미완성 작업들에 대한 사유를 추적하여, 이를 기반으로 작업흐름을 평가하고 개선을 꾀함.

- 이러한 원칙을 가지고 작업을 하여 각 참여 주체는 신뢰도를 높일 수 있음.
- 각 주체는 준비작업의 철저한 완성으로 인해 설치할 수 있는 작업의 예비 잔고량(workbale backlog)을 만들 수 있음. 이로 인해 각 주체는 부침을 줄이고 연속적으로 일(continuous flow)을 할 수 있음.
- 선행업체가 후행업체에게 필요한 작업을 계획 날짜에 확실히 인계해 줌으로써 신뢰도를 높일 수 있으며, 균등한 작업량을 내주어 후행업체가 계획에 맞춰 일을 할 수 있음.
- 결국 린 건설에서는 각 사업주체들이 신뢰도를 높임으로써 전체 프로젝트의 신뢰도가 높아지는 선순환 구조를 이루는 것을 목표로 하고 있음.

분석 방법 및 절차

본 연구에서는 상기 린 건설 원칙들을 적용하기 위해 다음과 같은 절차를 각 현장에 진행하였음.

○ 프로세스 메핑 워크숍을 통해 작업흐름 작성

- 작업흐름 작성을 위해 프로세스 메핑 워크숍을 실제 현장에서 관리하는 작업반장들과 함께 작성함.
- 이때 주의할 것은 작업의 단위를 하루 단위로 끊어주는 것인데 이를 위해서는 작업의 크기를 보수적으로 잡는 것이 중요함.
- 또한 참여 업체들 간의 연관관계 및 제약요건을 파악하여 작업흐름에 포함시키도록 함.

○ 일일 단위로 계획 실천 여부 측정

- 이렇게 형성된 작업흐름을 SPS PM에 입력하고 일일 작업 회의를 진행. 일일 작업 계획서에는 작업흐름 맨 앞 단에 있는 설치작업 및 준비작업 들만 우선적으로 계획하기로 함.
- 즉, 준비작업들이 완료되지 않은 상태에서는 설치작업을 일일 작업 계획서에 입력할 수 없도록 함.
- 작업반장들과 현장 기사들의 업무에 지장을 최소화하기 위해 일일 작업 회의는 하루에 20분으로 엄수함.
- 회의 절차는 전날 계획하였던 작업들의 완료 여부를 확인하고 미완료 시 작업 지연 사유를 기록한 후 명일 계획 작업을 선정함.

○ 신뢰도 측정

- 신뢰도는 일일 작업신뢰도(Percent Planned Completed : PPC) 및 'x일 기준 PAT'(Percent Anticipated Task : PAT)를 가지고 측정함.

- PPC는 전날 수행 계획 작업 중 당일 수행 완료한 작업의 백분율을 의미함.
 - 작업의 완료 여부는 'completed' 또는 'not-completed'로서 단순히 구분하되, 완료의 의미는 시작한 작업이나 진행 중인 작업이 아니며 반드시 계획한 만큼 완료된 작업일 경우에만 성립됨.
 - 또한 전날에 계획하지 않았던 작업을 완료하는 경우로서 이를 'completed not planned'(미계획 수행완료 작업)라고 함. 이러한 작업은 계획된 작업이 아니므로 신뢰도 측정시 포함시킬 수 없음. 하지만 이들 작업의 완료가 다음 작업의 시작을 가능케 하므로 이들의 완료 여부를 업데이트하는 것은 필요함.

- 두 번째 지수는 'x일 기준 PAT(Percent Anticipated Task)'로 PPC의 맹점을 보완하고자 개발한 신뢰도 지수임.
 - 즉, PPC 측정시 x일전에 계획했던 작업을 당일 일일 작업 계획서에 입력하지 않을 경우, 이 작업은 명일로 미뤄짐. 그러나 PPC는 이에 대한 신뢰도 점수상의 손해를 주지 않음. 즉, 당일 일일 작업 계획서에 넣지 않고 다음날 하면 그만인 맹점이 있는 것임.
 - 이를 보완하기 위해서 PAT는 x일전에 계획했던 작업들 중 일일 작업 계획서에 입력이 되는 작업들을 백분율한 값임.

- 외국 현장의 경우 린 건설을 오래 적용한 현장의 경우에는 5일 기준 PAT를 적용한 사례가 있으나 본 실험의 경우 2일 기준 PAT를 적용하였음.

○ 작업 지연 사유 취합

- 미완성된 작업들에 대해서는 필수적으로 작업 지연 사유와 그 원인에 대해서 기술하도록 함. 작업 지연 사유는 <표 1>과 같이 9가지로 분류하였음.

- 이들 중 ‘계획 변경’은 완료 예정이었으나 발주자, 원도급자의 지시사항으로 계획이 변경되거나 선행업체가 계획된 작업을 이행하지 않아 불가피하게 계획이 변경되는 경우임.
- 이에 비해 ‘준비 작업’은 설치 작업 전에 선행적으로 준비해야 할 작업의 미완수로 작업이 지연되는 경우로 여기에는 작업물량을 미리 계획하지 않은 경우도 포함됨. 즉, 각 참여 업체의 자체 계획 오류로 인한 작업 지연이 이에 속함.

〈표 1〉 작업 지연 사유의 종류 및 정의

작업 지연 사유	정의
계획 변경 (Directive/Plan)	발주자, 원도급자의 지시사항으로 계획이 변경되거나 선행업체가 계획된 작업을 이행하지 않아 불가피하게 계획이 변경되는 경우
준비 작업 (Prerequisite)	설치 작업 전에 선행적으로 준비해야 할 작업의 미완수로 작업이 지연되는 경우 (여기에는 작업물량을 미리 계획하지 않은 경우도 포함)
인력(Labor)	인력의 부족 또는 부재
자재(Materials)	자재의 부족, 부재 또는 불량
장비(Equipment)	장비의 부족, 부재 또는 불량
날씨(Weather)	악천후로 인한 작업 지연
정보(Information)	설계 또는 인허가 등
현장여건(Site Conditions)	현장 병목현상 또는 현장에 자재나 장비 유입불가
안전(Safety Incident)	안전 사고로 인한 작업 지연

○ 2주간 신뢰도 및 작업 지연 사유 분석, 개선점 발견 및 반영

- 이렇게 측정한 신뢰도 및 작업 지연 사유를 토대로 하여 기존의 구축된 프로세스들에 내재된 낭비 요소나 방법상의 문제점을 도출하고 이를 기반으로 하여 프로세스들을 재설계함.

■ 적용 현장 개요 및 분석 결과

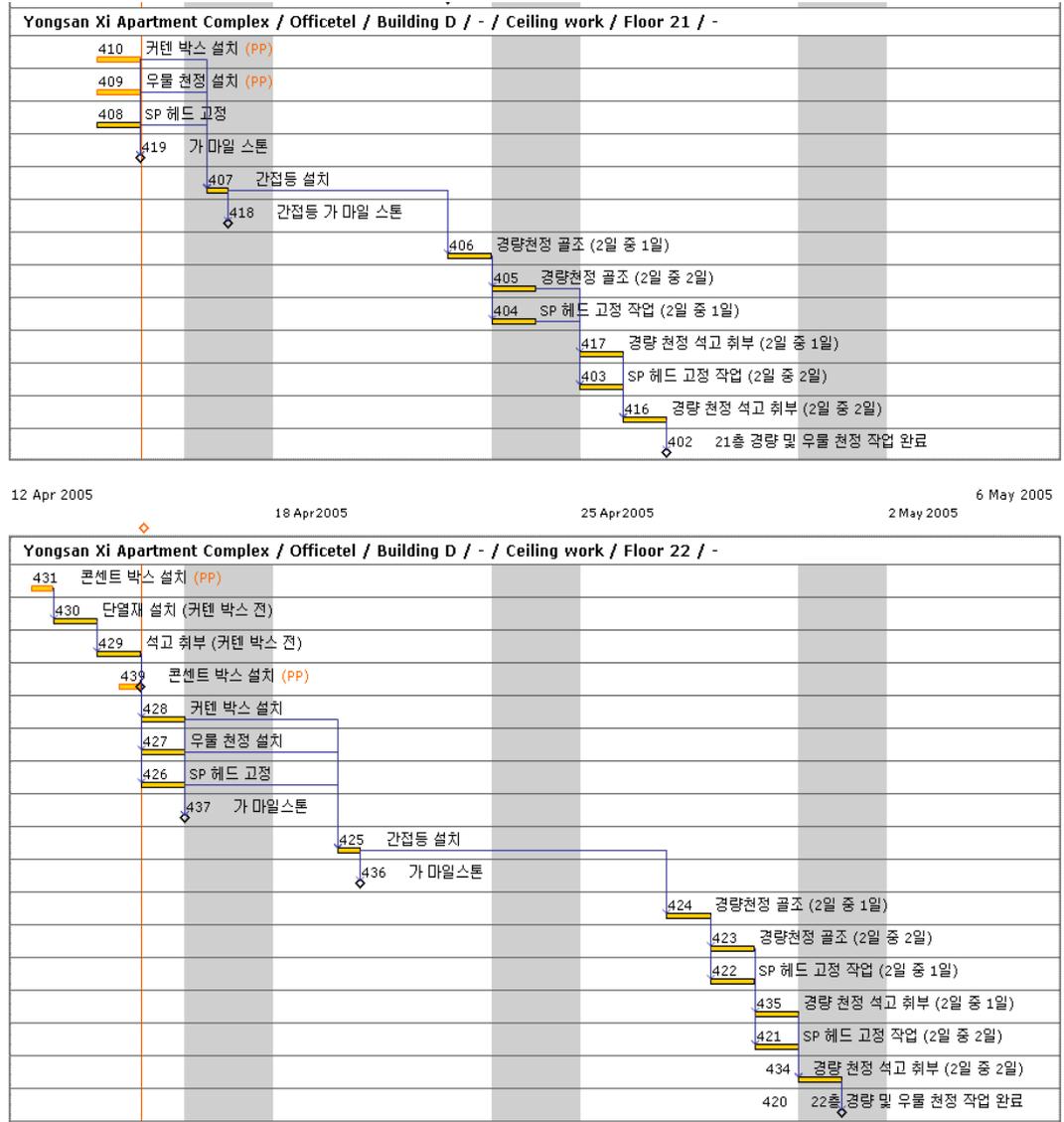
건축공사 현장

○ 공사 개요 및 분석 대상

- 적용 현장은 주상복합아파트로서 건물의 골조는 완성된 상태였으며 내부 마감공사가 진행 중이었음. 현장의 작업반장들과 면접한 결과 천정 설치 작업과 관련된 다수 업체들의 상호 조율이 안 되고 있다는 지적에 이들의 작업 실태를 집중적으로 파악하였음.
- 천정설치 작업은 6개의 작업조(보온, 콘센트, 단열, 석고취부, 커텐 박스, 간접등, 경량천정)가 10개의 개별 공종을 밀접한 선후행 관계를 유지하면서 각층마다 반복 설치해야 함. 이들의 작업 현황 분석을 위해 <그림 3>과 같이 층당 작업흐름을 파악하였음.
- 그 다음 단계로 이 프로세스를 각층에서 일일 단위로 관리하기 위해 <그림 4>와 같이 각 작업흐름이 마무리되어야 하는 날짜로부터 역산 하여 SPS PM에 입력한 후 일일 작업 회의를 진행하였음.



그림 3. 건축공사 층당 천정설치를 위한 작업흐름



<그림 4> 2개 층에 적용된 천정설치 작업흐름

○ 현상 분석 및 개선사항

- 현장에서는 기존에 월간 공정회의도 하고 일일 단위로 공사일보를 제출하고 있었음.
- 그러나 공정회의에서는 기존 작업 진도율을 월간 단위로 체크하는 데 그치고 향후 작업도 측수에 대한 구두 지시사항으로 그치는 경우가 있어 체계적으로 작업 조율을 할 수 있는 수단으로 활용하기에는 부적합하였음.

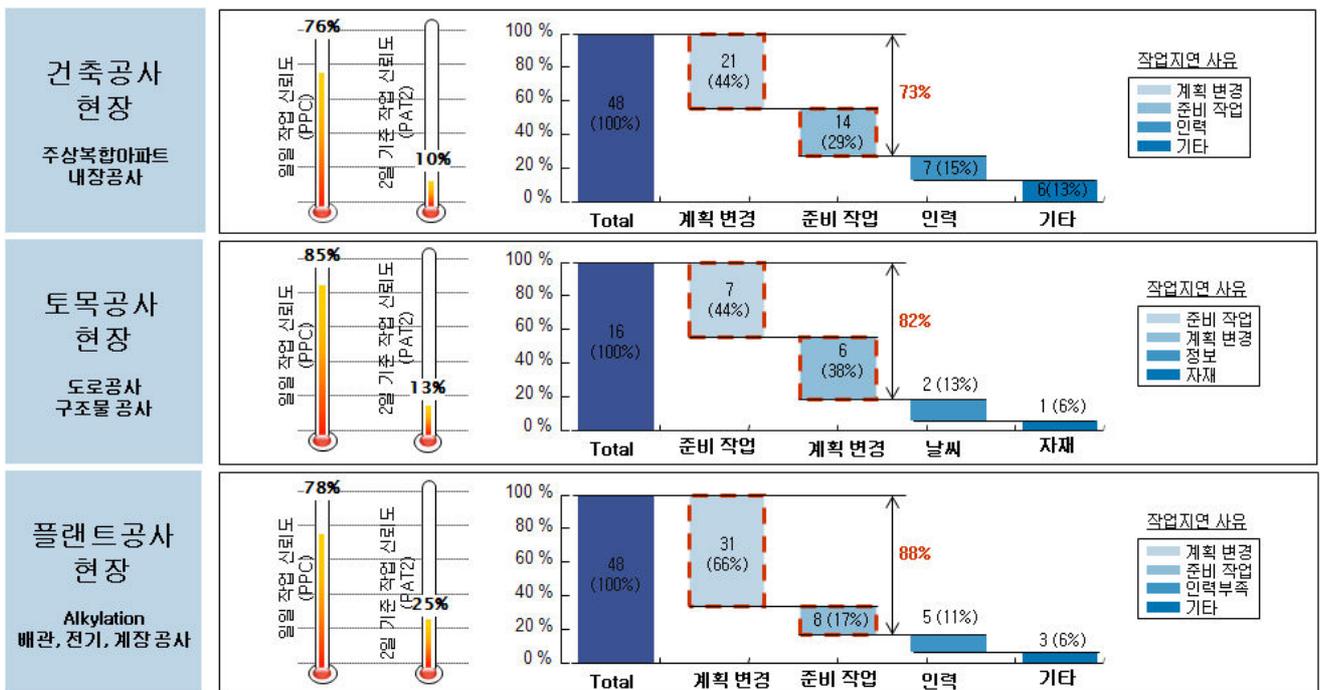
· 개별 작업조들이 제출한 공사일보는 상호간 연관관계나 일일 작업량을 맞춘 상황에서 작성된 것이 아니었음. 더불어 상호 작업 진도에 대한 정보 공유가 미흡한 상태였으며, 어느 날짜까지 특정 층을 끝내야겠다는 공유된 목표도 부재하였음.

- 이와 같은 상황에서 일일 작업 회의를 진행하면서 측정한 결과 PPC의 평균은 76%가 나왔으며 2일 기준 PAT는 10%가 나왔음(그림 5). 또한 2주간 미완성된 총 작업 수는 48개였으며 그 중 ‘계획 변경’이 21건, ‘준비 작업’이 14건으로 가장 많았음.

· PPC에 비해 2일 기준 PAT가 낮게 나온 것으로 볼 수 있듯이 계획된 작업을 수행할 수 있는 능력이 저조한 것으로 나타났음.

· ‘계획변경’의 사유를 구체적으로 살펴보면 선행 작업조가 약속한 날짜에 층당 설치를 끝내지 못한 사유가 대부분임. 즉, 선행 작업조 간 조율이 제때에 이뤄지지 않고 있음을 알 수 있음.

· 두 번째로 ‘준비 작업’에 의한 작업 지연이 많은 것은 그만큼 각 조가 하루에 일할 수 있는 작업물량의 불확실성이 높다는 것을 시사해줌.



<그림 5> 3개 현장의 PPC, PAT 및 작업 지연 사유

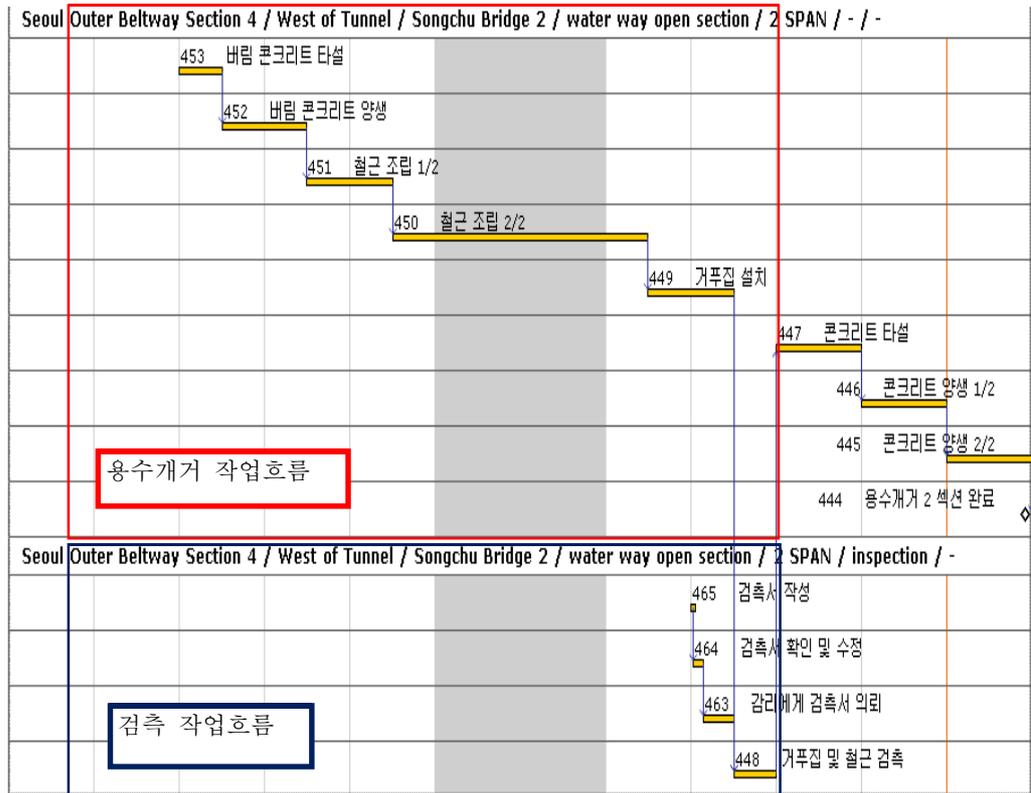
- 요약하건대 각 작업조가 하루에 할 수 있는 일에 대한 불확실성이 크고, 이로 인해 후행업체의 계획에 차질을 빚는 전형적인 계획 미조율의 양상을 보이고 있음을 알 수 있었음.
- 또한 상호 신뢰성 부족으로 필요 이상의 버퍼가 존재하게 되었음. 즉, 선행 작업조가 2~3개 층을 완성하기 전까지 후행 작업 조가 작업의 시작을 미루는 것임. 결국에는 전체 공기는 늘어날 수밖에 없는 구조가 형성되었음.
- 이와 같은 문제점을 극복하기 위해서 2주간의 분석 후 다음과 같은 개선 사항을 제시하였음.
- 공사일보 대신 서로의 연관관계 및 진도율을 고려한 프로세스 메핑을 하고 이를 일일 작업 회의를 통해 관리하도록 함.
- 각 작업조는 할 수 있는 작업만 일일 작업 계획서에 입력하고, 명일하기로 계획한 작업을 지켜나가는 습관이 필요함.
- 선행 작업조가 하루에 같은 양의 일을 후속 작업조에게 일정하게 주는 게 전체 공정을 줄이는 효과가 있음. 즉, 후속 작업조가 할 수 있는 작업량을 고려하여 선행 작업조가 이에 맞춰서 일을 해주는 조율 작업이 필요함.

토목공사 현장

○ 공사 개요 및 분석 대상

- 두 번째 현장은 도로 공사로서 노반공사와 교량공사가 주를 이루었음. 특히 교량의 진입부와 관련된 토공(성토, 절토 등), 배수공(용수개거, U형, V형 측구) 및 교량공(옹벽 등)과 같은 기초 공사가 진행 중이었음.
- 이들의 작업 현황 분석을 위해 각개 공종을 담당하고 있는 작업반장들과 프로세스 메핑 워크숍을 진행하였고 그 결과로 각 구조물에 대한 작업흐름을 구축하였음.

·예를 들어 <그림 6>은 구조물 중 용수개거에 관한 작업흐름을 보여줌.
 ·다음에는 각 구조물이 완성되어야 하는 날짜를 기준으로 작업흐름을 SPS PM에 입력한 후 일일 작업 회의를 진행하였음.

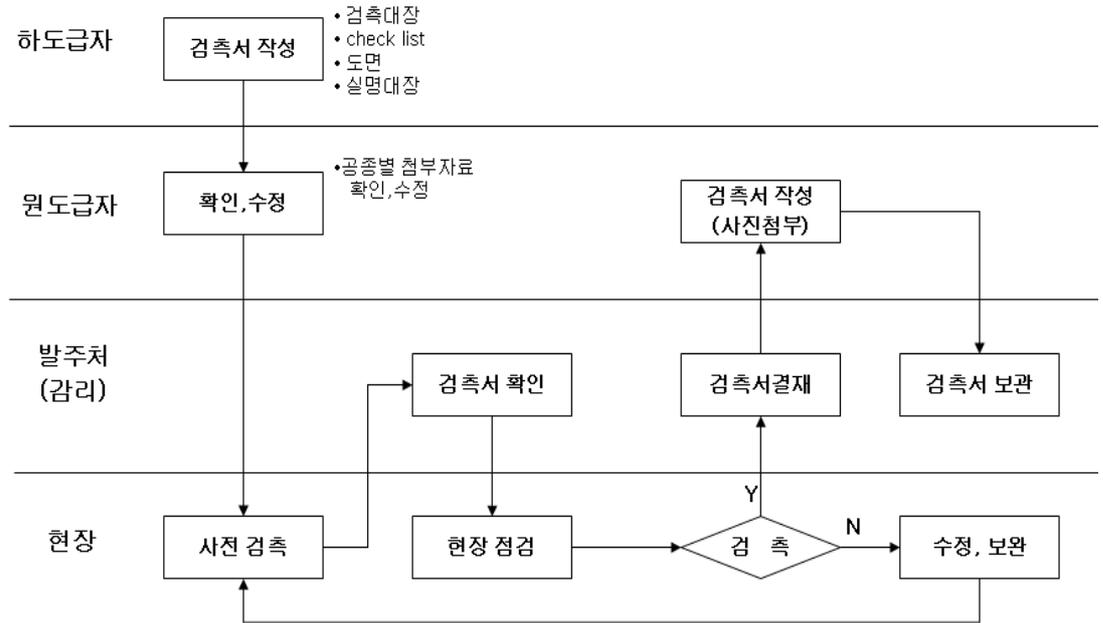


<그림 6> 토목공사 용수개거 설치를 위한 작업흐름

○ 현상 분석 및 개선사항

- 토목공사는 당일 계획했던 작업을 불가피하게 못할 경우, 대체 작업을 수행할 수 있는 여건이 건축공사보다 수월하였음. 즉, 건축공사에 비해 참여 업체 수도 적었고 상호 의존성이 상대적으로 약하여 여유 있게 일할 수 있는 여건이 가능하였음.
- 그러므로 일일 작업회의에서 전날 계획했던 작업을 당일 이행하려는 노력이 미흡하다는 것을 알 수 있었음. 또한 하나의 작업을 완성하는 것보다는 여러 작업을 동시에 개시하여 인력이 계속적으로 일을 할 수 있는 작업량을 구축해 놓고 있었음.

- 하지만 이 경우 실제 할 수 있는 일일 작업량보다 많은 작업들을 계획하였고 그 결과로 계획에 변동이 생겼을 경우 인력과 장비가 대기해야 하는 위험이 따름.
- 이런 상황에서 일일 작업 회의를 진행하면서 측정한 결과 PPC의 평균은 85%가 나왔으며 2일 기준 PAT는 13%가 나왔음(그림 5). 2주간 미완성된 총 작업 수는 16개였으며 그 중 ‘준비 작업’이 7건, ‘계획 변경’이 6건, ‘날씨’가 2건, ‘자재’가 1건인 것으로 나타났음.
- 건축공사와 유사하게 PPC에 비해 2일 기준 PAT는 낮게 나왔음. 이는 역시 작업을 계획하고 이에 맞춰 실행하는 능력이 떨어진다는 것을 시사해줌.
- ‘계획 변경’의 사유를 구체적으로 살펴보면, 검측 작업이 늦어져 다음 작업이 지연되는 경우가 빈번한 것을 알 수 있었음.
- 이에 검측 프로세스를 따로 메핑하여 분석한 결과, 감독관이 검측 일정에 나타나지 않는 경우가 있는 반면, 시공사 측에서는 충분히 사전에 통보해 주지 않는 경우도 있었음.
- 즉, 감독관과 작업조 간에 검측 체계가 명확히 정의되지 않아 이로 인해 서로에 대한 신뢰도가 떨어져 결국 작업 대기 시간 및 작업 지연이 발생하고 있다는 것을 알 수 있었음.
- 이와 같은 문제점을 극복하기 위해서 2주간의 분석 후 다음과 같은 개선 사항을 제시하였음.
- <그림 7>과 같이 검측 프로세스를 메핑하여 각 과정의 책임소재를 파악하였음. 이 프로세스를 작업흐름으로 표현하고 각 구조물의 작업흐름과 연계시켜 줌.
- 예를 들어, 그림 6에서는 용수개거 작업흐름과 검측 작업흐름을 연계시켰음. 이로써 제반 구조물에 대해서 감독관이 검측을 해줘야 하는 날짜가 정확하게 파악됨.
- 이런 작업흐름을 일일 작업 회의를 통해 관리하고 감독관에게 통보함으로써 상호간 작업 조율이 가능토록 함.

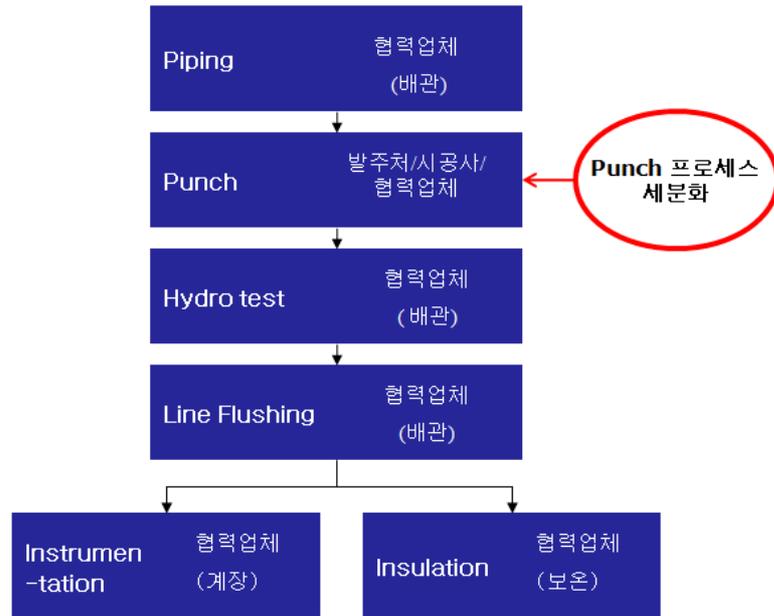


<그림 7> 토목공사 검측 프로세스 파악

플랜트 공사 현장

○ 공사 개요 및 분석 대상

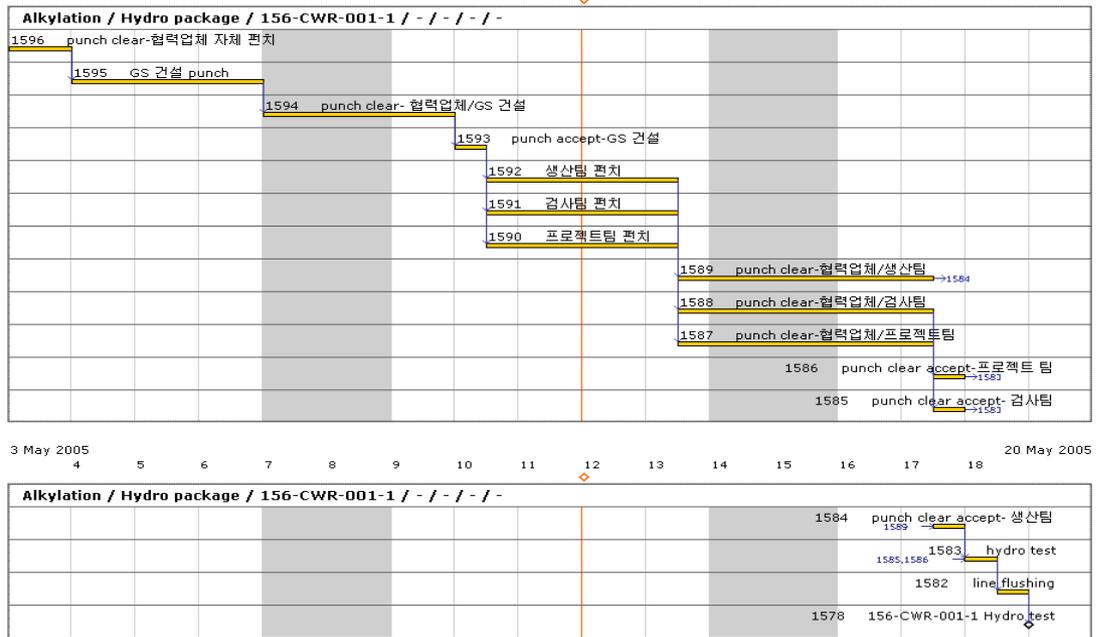
- 세 번째 현장은 플랜트 공사로서 알킬레이션(Alkylation) 플랜트였음. 기본 골조는 완성된 상태였으며 내부에 설치될 각종 생산 기기, 배관, 보온, 계장 및 방화재의 설치가 진행 중이었음.
 - 특히 주요 배관의 설치 후 보온 및 계장의 설치가 가능해지기 때문에 작업조들 간의 상호의존도가 높았으며, 또한 간섭 사항도 많은 편이었음.
 - <그림 8>과 같이 배관설치(Piping) 후 발주처, 시공사, 협력업체가 개별적으로 배관 검측(Punch)작업을 하고, 그 후 배관의 성능을 시험하는 하이드로 테스트 및 플러싱(Line Flushing)작업을 마쳐야만 계측 장비 및 배관 보온 작업이 시작될 수 있음.
- 이들의 작업 현황 분석을 위해 프로세스 매핑 워크숍을 진행하였고 완성되어야 하는 날짜를 기준으로 작업흐름을 SPS PM에 입력한 후 일일 작업 회의를 진행하였음.



<그림 8> 플랜트 공사 배관, 검사, 계장, 보온 작업 설치 순서

○ 현상 분석 및 개선 사항

- 측정 결과 PPC의 평균은 78%가 나왔으며 2일 기준 PAT는 25%가 나왔음(그림 5). 2주간 미완성된 총 작업 수는 48개였으며 그 중 ‘계획 변경’이 31건, ‘준비 작업’이 8건, ‘인력’이 5건으로 가장 많았음.
- 건축, 토목 공사와 마찬가지로 플랜트 공사에서도 역시 2일 기준 PAT가 저조한 것으로 나타났음.
- ‘계획 변경’의 사유를 구체적으로 살펴보면 하이드로 테스트작업과 플러싱 작업이 24시간 안에 동시에 진행되어야 한다는 발주처의 기준과 편치 작업 등 발주처의 검사 방법이 너무 오래 걸리는 것으로 드러나, 이를 개별적으로 프로세스 매핑하여 집중 분석하였음.
- <그림 9>와 같이 편치를 하는 주체가 다섯 팀이나 존재함(발주처의 생산, 검사, 프로젝트팀; 원도급자팀, 협력업체의 배관팀).
- 이 중에서 3개 발주처 팀은 개별적으로 편치 작업을 시행하는 것을 알 수 있었음. 이들이 편치하는 주기와 횟수가 일정치 않아, 하나의 배관 패키지를 검측하는 기간이 필요 이상으로 늘어지는 것을 파악할 수 있었음.



<그림 9> 플랜트 공사 기존의 펀치작업 작업흐름 과정

- 이와 같은 문제점을 극복하기 위해서 2주간의 분석 후 다음과 같은 개선 사항을 제시하였음.
- <그림 10>과 같이 배관팀이 첫 펀치 작업을 할 때 발주처 측의 생산팀이 함께 동반함으로써 초반에 하자를 찾도록 함.
- 또한 발주처의 생산, 검사 및 프로젝트팀이 본격적으로 펀치 작업을 할 경우 하나의 팀으로 병행하여 시간을 단축하도록 함.



<그림 10> 플랜트 공사 개선된 펀치 프로세스 작업흐름

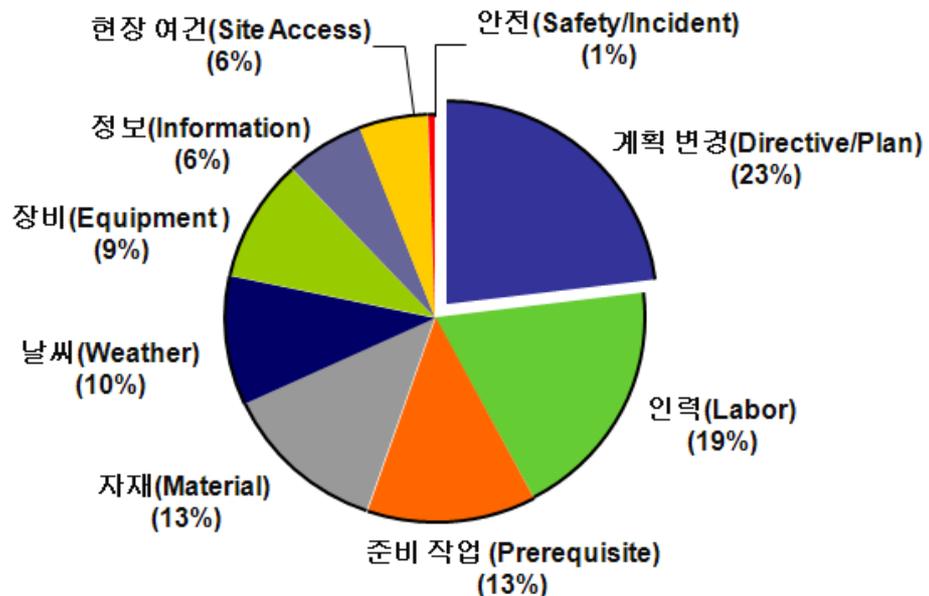
■ 주요 시사점

린 건설 관점에서 본 국내 현장 운영의 문제점

3개 현장에서 린 건설을 수행한 결과, 국내 현장 운영상 가장 두드러진 문제점들은 다음과 같이 나타났다.

○ 참여 주체 간 작업 조율 부족

- <그림 11>은 외국에서 시행했던 프로젝트들의 작업 지연 사유들을 취합해 총 평균을 낸 것임. 본 평균은 SPS사에서 외국 대규모 현장에서 20개 업체를 3년 이상 측정해 결과를 근거로 하고 있음.
- <그림 11>에서 보듯이 외국의 경우 작업 지연 사유 중 ‘계획 변경’(Directive/Plan)에 대한 비중은 23%인데 비해 국내 3개 현장에서는 무려 49%를 차지했음.



<그림 11> 해외 공사에서 축적한 작업 지연 사유들의 비중

- 이는 참여 주체 간의 연관관계나 의존성에 대한 명확한 프로세스 정의가 되어 있지 않고, 이에 대한 체계적인 조율이 정립되지 않아 작업 지연이 많이 일어나고 있는 것으로 드러났음.
- 또한 각 주체 간 전체적인 프로세스를 보는 눈이 부족한 것을 보여줌. 본 사례에서는 건축의 경우 협력업체들끼리, 토목과 플랜트의 경우 발주자, 시공사 및 협력업체 간의 작업 조율이 제대로 이뤄지지 않는 것으로 드러났음.

○ 상세 공정 단위 계획 능력 부족

- 국내에서 어느 특정 공사를 불문하고 일일 작업 단위로 상세 공정을 실천 가능토록 구축하는 능력이 부족하다는 것을 알 수 있었음.
- 그림 11에서 보듯이 외국에서 ‘준비 작업’(Prerequisite)에 대한 비중은 13%인 데 비해, 국내 3개 현장에서는 평균 23%를 차지했음.
- 이는 국내에서 작업의 완성을 위해서 선행되어야 하는 준비 작업들에 대한 철저한 관리가 이뤄지지 않고, 일일 단위로 인력 및 장비 생산성 대비 가능한 작업물량을 산출하고 계획하는 능력이 외국에 비해 뒤처진다는 것을 보여줌.
- 또한 외국의 경우 5일 기준 PAT를 측정한 결과 20~30%의 평균을 보이는 반면⁷⁾, 국내 3개 현장에서 2일 기준 PAT의 평균은 16%에 불과했음. 이 결과 역시 단기 계획의 올바른 수립 및 실행 능력이 부족하다는 점을 시사해줌.

○ 계획 작업의 실천 의식 부족

- 계획을 상세 단위에서 수립하는 능력도 외국에 비해 뒤쳐지지만 계획대로 실천하려는 의식의 부족도 문제인 것으로 드러났음.
- 일일 작업 회의를 진행하면서 다음날 작업에 대해서 전날 약속(commit)하는 것도 참여 업체들은 부담스러워하여 ‘완성할 수 있는 일

7) 본 평균은 SPS사에서 외국 대규모 현장에서 20개 업체를 3년 이상 측정한 결과를 근거로 하고 있음.

만 계획하라’는 습관을 들이기가 쉽지 않았음.

- 또한 매일 약속한 작업들의 완성보다는 지시사항이나 당일 여건에 따라 작업 수행 가능한 작업들에 치중하는 경향이 있는 것으로 드러났음. 이것은 3개 현장에서 공통적으로 다수의 미계획 완료작업(completed not planned)이 나오는 결과를 초래했음.

○ 산업 구조적, 제도적 문제점

- 린 건설을 실천하는 데에 있어 상기 운영상의 문제점들과 더불어 국내 현장의 경우, 여러 제도적, 구조적 문제점들도 발견할 수 있었음.
- 장기계속 계약 공사: 장기계속 계약 공사는 발주자의 예산 확보 수준에 따라 해마다 공사물량이 결정되기 때문에 전체 사업기간의 단축이 이루어질 수 없음. 이에 따라 당해 물량만 수행하면 된다는 인식이 있고 대부분의 경우 이 물량은 계획된 공사의 30~40% 수준을 겨우 달성할 수 있는 정도로 편성됨⁸⁾. 즉, 생산성 향상을 통해 공기를 단축하려는 의지나 필요성이 부재하여 린 건설을 이행하는 데에 있어서도 하나의 저해요인으로 드러났음.
- 건축 및 플랜트공사의 경우 관련 업체 간의 계획 조율 및 일일 작업 회의를 통해 공기를 줄이고 협력업체들의 비용(특히 인건비)을 절감할 수 있다는 점에서 업체들의 적극적인 협조를 얻을 수 있었음.
- 그러나 토목공사의 경우, 장기계속 계약 공사이기 때문에 근본적으로 생산성을 높여야 한다는 인식이 상당히 낮은 상태였음.
- 다단계 하도급구조: ‘발주자-원도급자-하도급자-시공참여자-팀·반장-...’으로 나타나는 다단계 하도급구조는 실제 시공과정이 원도급자 또는 하도급자의 통제로부터 멀어지게 해 시공자간의 협력 및 조정을 저해함. 이러한 현상은 특히 건축현장에서 심각하게 나타남.

8) 이상호·김중훈·권오경 (2005), 한국 건설산업 대해부, 보성각.

- 용지보상 민원과 관련된 공사 중단 : 특히, 도로공사의 경우 시공 중에 용지보상을 동시에 수행하는 사례가 많은데 이때 민원이 발생할 경우 공정관리 계획은 무용지물이 되고, 현장 실무자들은 린 건설방식 등에 무관심하게 되고 적용 의욕이 상실됨.
- 근로자 변동에 따른 일일 작업량 산출 곤란 및 책임감 부족 : 거의 모든 기능인력이 비정규직으로서 작업팀 구성원이 수시로 바뀌므로 자신의 생산능력을 알 수 없어 자신이 생산할 수 있는 일일 작업량 역시 불확실해짐.
 - 특히, 최근 저가수주가 심화되면서 불법체류자 등 외국인력 투입하게 되면서 그 불확실성은 더욱 커지고 있음. 근로자들 역시 비정규직 신분이므로 생산에 대한 주인의식 또는 책임감이 결여될 수밖에 없음. 이들은 타 현장에서 약간의 일당만 더 주더라도 미련 없이 당해 현장을 떠나기 때문임.

국내 린 건설 도입의 전제조건

- 상기 문제점들을 극복하는 것이 국내에서 린 건설의 도입을 위한 중요한 과제라고 할 수 있음. 이에 따라 국내에서 린 건설 도입을 위해서는 다음과 같은 것들의 변화가 수반되어야 함.

○ 프로세스에 대한 주체 의식 고양

- 국내 건설 현장은 상명하복식의 관리 관행이 아직도 지배적인 것으로 보임.
 - 협력업체들은 원도급자의 지시사항에 의존하는 수동적인 모습임.
 - 원도급자와 발주자 또한 전체 프로세스를 관장하기보다는 각자 업무에만 책임 범위를 국한시키고 있는 것으로 보임.
 - 도요타 생산 방식에서 중요시하는 자동화(autonomation)는 생산라인 상에서 불량품 또는 낭비요소가 발견될 경우 생산라인을 과감하게 정

지시할 수 있는 권한을 작업자들에게 부여하는 것임. 이처럼 생산의 권한과 주체의식을 작업자들에게 부여함으로써 직접 생산성 향상에 참여하게 하는 것임.

- 일일 작업 회의 또는 주간 작업 회의는 강요가 아닌 상호 업무를 파악하고 의사소통을 통해서 문제점을 해결하는 데에 목적이 있음.
- 그러므로 다소 수동적인 자세에서 적극적으로 프로세스에 개입하고 문제점을 개선해 나가려는 의지가 중요함.
- 국내 실정을 감안해 봤을 때, 이런 주체성의 부여가 토목공사의 경우 대부분 공공공사가 많고 감리의 존재로 어려움이 있으나, 민간공사가 많은 건축공사나 플랜트공사의 경우 가능할 것으로 사료됨.

○ 린 건설 일일 작업 방식에 대한 교육

- 린 건설의 일일 작업 방식은 사업의 참여 주체들이 자체적으로 프로세스 맵핑을 하고, 일일 작업 회의를 통해 문제점을 발견하며 이의 반복을 통해 점진적 개선을 꾀하는 것을 목표로 하고 있음.
- 참여 주체들이 스스로 단기 계획을 잡고, 린의 관점에서 효율적으로 프로세스를 개선하는 능력이 배양되어야 함.
- 참여 주체들이 린 이론에 대한 기본 지식을 습득하고 린 체제로 전환해 가는 능력을 키워야 함.
- 이런 관점에서 발주자 및 원도급자가 교육을 선도하고 린 건설 이행에 따른 동기 부여를 줘야 함.

○ 계약 방식 및 산업 구조의 개선

- 앞서 언급한 대로 장기계속계약 공사, 다단계 하도급구조, 발주자에 의한 용지보상 문제 해소, 근로자 변동에 따른 일일 작업량 산출 곤란 및 책임감 부족 등과 같은 문제점들의 개선도 린 건설을 도입하는데 반드시 선행적으로 개선되어야 할 것임.

■ 결론

- 본 연구에서는 국내 건축, 토목 및 플랜트 현장에 린 건설에서 제시하는 일일 작업 관리 방식을 도입하여 신뢰도 및 작업 지연 사유를 통해 개선점을 파악하였음.
- 3개 현장의 PPC는 평균 79%였으며, 2일 기준 PAT는 16%였고, 작업 지연 사유의 주된 이유는 '계획 변경' 및 '준비 작업'이 가장 많은 것으로 나왔음.
 - 이에 따라 외국과 비교시, 국내에서 전체 프로세스를 참여 주체들 간에 협력하여 기획하고 개선해 나가는 작업이 미흡하고, 상세 단위에서의 계획 능력이 상대적으로 약한 것으로 해석이 되었으며, 계획한 작업을 실천하려는 의식이 약한 것으로 드러났음.
 - 더불어, 린 건설의 국내 도입을 위해서는 참여 주체들의 사업에 대한 주체 의식 향상, 린 건설 도입을 위한 자체 인력 교육 및 양성이 절실하다는 것으로 드러났음.
- 본 연구에서 각 현장마다 2주라는 비교적 짧은 기간 동안 측정된 신뢰도 값이나 작업 지연 사유들이 국내 건축, 토목, 플랜트의 특성이나 문제점을 대변한다고 할 수 없음. 또한 제반 프로세스들을 분석하지 못하였고, 측정 기간 중 발견된 문제점들을 개선하는 데 국한하였음.
- 그러므로 각 공사의 일반적인 문제점을 발견했다기보다는 린 건설 방법이 국내 대표 공사에 적용 가능하다는 것을 보여줬고 특성화된 방법론을 제시했다는 데에 의미를 두는 것이 옳을 것임. 더불어 해외에서 적용된 동일한 방법을 사용함으로써 신뢰도 및 작업 지연 사유에 객관적 비교 평가가 가능하다는 데에 또한 연구의 의의를 둬.

구본상(연구위원·bkoo@cerik.re.kr)