

건설산업동향

# 린(Lean) 생산 방식과 해외 대규모 건설사업 적용 사례

구분상

2006. 5. 3

- 서론 ..... 3
- 린 생산 방식의 기본 개념 및 특성 ..... 4
- 린 생산 방식과 건설 공사 ..... 7
- 적용 사례: 영국 히드로공항 제5터미널 신축공사 ..... 11
- 주요 시사점 ..... 21

## 요 약

- ▶ 본 고에서는 건설 공사 생산성 향상 혁신 기법으로 강조되고 있는 린 건설(Lean Construction)에 대한 기본 개념과 적용 방법을 논하고, 이를 실제 대규모 터키 사업인 영국의 히드로공항 제5터미널 공사에 적용한 사례를 소개함.
- ▶ 린 건설(Lean Construction)은 제조업 생산 이론인 린 생산 방식(Lean Production Methodology)에서 유래됨. 린 생산 방식은 일본 도요타사가 독자적으로 개발한 생산 기법으로 포드식 대량주의에 입각한 재고를 쌓아두고 생산하는 방법을 지양하고 적시에 제품과 부품이 공급되는 JIT(Just-In-Time) 시스템을 갖춤으로써 재고 비용을 줄이고 종업원의 적극적인 참여를 유도하여 생산 품질까지 높이는 혁신적인 방식임.
- ▶ 린 건설은 린 생산 방식을 건설 공사에 맞게 특성화한 것으로 현장 작업자들이 세부 작업 단위에서 작업 정의를 하여 작업 흐름의 연속성을 확보하고, 풀(pull) 방식을 통한 JIT 자재 시스템을 구축하여 자재의 낭비 또는 누락을 최소화하는 것을 목표로 함. 이와 함께 세부 작업 계획 대비 실행을 중시하는 신뢰도 위주의 KPI(핵심성과지수)를 선정하여 관리하는 것을 중시함.
- ▶ 영국 히드로공항 제5터미널 공사는 터키 사업으로서 설계 완료 전 시공이 착수됨. 또한 야적장 부지가 부족하고, 현장에는 80개가 넘는 공종별 프로젝트가 동시에 진행되고 있었음. 이러한 공사 여건을 극복하기 위해 영국공항공단은 린 건설 방식을 채택하였음. 현장의 모든 업체들이 제약 분석을 통해 2~3주 단기 계획을 수립하여 실천하고, 대부분의 자재를 풀 방식으로 전환함으로써 적시적소에 업체들이 자재를 쓸 수 있도록 하였음. 이렇게 구축된 린 체계의 유지 및 관리를 위하여 일일작업신뢰도(PPC), 야적 대기 사이클 시간 등의 KPI로 평가 및 관리함.
- ▶ 린 건설 방식의 도입으로 히드로공항 제5터미널 공사는 대형 물류 창고의 병목 현상을 해소함으로써 현장 업체들의 원활한 자재 공급을 가능케 함. 또한, 자재 주문을 최대한 늦출 수 있는 유연성이 생겨 자재의 낭비나 누락을 최소화해주고, 선행작업자와의 작업 조율 미흡으로 인해 발생하는 후행작업자의 대기 시간 및 재시공 작업(rework)을 최소화시킴. 이러한 효과로 현재까지 공기를 준수하고 공사비 절감 목표인 10%를 달성함.
- ▶ 본 사례 분석은 린 건설 적용이 실제로 가능할 뿐만 아니라 사업 리스크를 효과적으로 제어할 수 있음을 입증함. 또한 린 건설 방식의 도입과 실천을 위해서는 발주자의 리더십 및 업체들의 적극적인 참여가 가장 중요한 성공 요인이라는 것을 시사하고 있음.

## ■ 서론

- 해외에서 진행되는 대규모 턴키(Design Build)공사에서는 다양한 사업 주체들(시행사, 설계사, 원·하도급업체, 자재 조달·납품업체 등등)이 단일 목적을 위해 동시 다발적으로 일을 수행하게 됨. 이와 함께 공사가 패스트 트랙(fast track)으로 진행되는 경우가 대부분이므로 상호 의사소통 부족 및 연계된 업무 절차의 미비 등으로 인해 많은 낭비 요소들이 내재하고 있는 속성을 가지고 있음. 이러한 사업 환경에서는 공기 지연 및 공사비 초과 리스크가 유난히 큼.
- 해외 발주자들은 대규모 턴키공사에 수반되는 리스크를 인지하고 설계 및 시공업체들에게 공사상 리스크 관리 능력 여부를 중요한 판단 기준으로 보는 경향이 높아지고 있음<sup>1)</sup>.
- 특히 프로젝트 진도 평가 기준으로 쓰이는 EVM(Earned Value Method) 방식은 격월 또는 분기 단위(즉, 워크 패키지 단위)로 공사 진행 상황(공사 기간 및 공사비 측면)을 한눈에 간파할 수 있는 방법으로는 적합하지만, 성과 위주의 측정에 치우쳐져 있다는 점과 실제 현장에서 발생하는 리스크 요소를 규명하고 관리하는 데에는 한계가 있다는 지적이 있음<sup>2)</sup>.
- 실제 작업상 리스크는 현장에서 일일 단위로 실시되는 작업 프로세스들의 정의를 통해 가시화되며 설계, 자재 및 현장의 세부 작업들이 유기적으로 연계되어야 리스크 관리가 실질적으로 이뤄진다는 인식이 두드러지고 있음.
- 이러한 인식의 변화로 선진국에서는 대규모 프로젝트에 린 건설(Lean Construction) 방식을 도입하는 현장들이 늘어나고 있음. 린 건설 방식은 세부 작업 단위의 작업 정의를 통하여 작업 선후행간의 규칙적인 연결을 기준으로 공정 계획을 수립·관리함

1) Chan A., Scott D., and Lam E. (2002). "Framework of Success Criteria for Design/Build Projects.." Volume 18, Number 3, pp. 120-128, Ernzen J., and Schexnayder C. (2000). "One Company's Experience with Design/Build: Labor Cost Risk and Profit Potential." Journal of Construction Engineering and Management, Volume 126, Number 1., pp. 10-14.

2) Ballard, G. (2000). "The Last Planner System of Production Control." Thesis submitted to the Faculty of Engineering of The University of Birmingham for the degree of Doctor of Philosophy. School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham.

으로써 재고 최소화, 낭비의 최소화, 관리 능률 향상, 변이 관리 능력 향상, 공기 단축, 비용 감소 등의 효과를 나타낼 수 있음. 특히 현장의 세부 작업과 설계 및 자재를 ‘풀(pull)’ 방식으로 연계하여 JIT(Just-In-Time) 입고 및 설치를 구축하여 신뢰도 중심의 운영 및 평가를 중시함.

- 본고에서는 린 건설 방식을 실제로 적용한 영국 히드로공항 제5터미널 신축공사를 소개함. 히드로공항 공사는 현재 진행 중인 유럽의 대규모 건설 사업 중 가장 큰 사업으로서, 발주 형태 및 현장 여건 등 린 건설 방식의 도입이 필수적이었음. 본고에서는 이 프로젝트에 린 건설 방식을 적용하게 된 배경, 적용 및 운영 방식, 그리고 현재까지의 적용 효과를 정리 요약함.
- 이 프로젝트에서의 린 건설 방식 적용 사례는 대규모 프로젝트에서 턴키 발주가 늘어나고 있는 국내 발주자 및 설계, 시공업체들에게 사업관리를 통한 경쟁력 제고를 위한 혁신적인 방향을 제시할 수 있을 것으로 사료됨.

## ■ 린 생산 방식의 기본 개념 및 특성

### 기본 개념

- 린 생산 방식은 종전의 포드 대량주의에 입각한 재고를 쌓아두고 생산하는 방법을 지양하여 적시에 제품과 부품이 공급되는 JIT시스템을 갖추으로써 재고 비용을 줄이고 종업원의 적극적인 참여를 유도하여 궁극적으로는 생산 품질까지 높이는 혁신적인 방식임.
  - 이는 최근 다품종 소량 생산에 적합할 뿐만 아니라 낭비(cost)를 최소화할 수 있는 보편적인 생산 기법으로 세계적으로 각광받고 있는 생산 방식임.
- JIT 생산 시스템의 구현을 위해 린 생산 방식은 풀(pull) 방식의 자재흐름을 사용함. 풀 방식이란 고객의 주문에 의해 생산이 개시되는 것으로서, 대량 생산 방식이 자재소요계획을 짜고 재고를 쌓아 놓는 푸시(push) 방식과 대비되는 방식임.

## 발달 과정

- 1950년대부터 ‘린의 대부’라고 불리는 도요타의 타이치 오노(Taichi Ohno)<sup>3)</sup>는 포드, GM 등 미국 자동차 회사들의 대량 생산 방식에 낭비 요소들이 많이 내재되어 있다고 판단하고 독자적인 생산 방식을 개발하기 시작함.
- 린 생산 방식은 1973년 오일 쇼크에 따른 고유가로 일본 기업들이 신음할 때 도요타만 승승장구하면서 가치가 알려지기 시작함.
- 대량 생산 방식(대량 생산, 저비용)과 수공업생산 방식(다양성과 유연성)의 장점을 결합하여 제품 생산 과정에서 발생하는 제반 낭비 요소들을 제거하고, 생산과정의 체계적인 개선을 위한 다양한 기법들을 수십 년간 다듬어서 전사적으로 정착시킴.
- 그 결과로 오노는 7가지 낭비 요소들(하자, 과다 생산, 재고, 대기, 이동, 동작, 과다 가공)을 정의하고, 이를 줄일 수 여러 기법들을 개발함. 이중에 대표적인 것이 JIT, 간판(kanban) 카드, 평준화(heijunka)와 같은 기법으로서 이들은 풀 방식에 그 기반을 두고 있음<sup>4)</sup>.

## 푸시 對 풀 방식 비교

- 대량생산 방식은 푸시 방식이라고도 하는데, 포드식 대량주의에 입각한 방식으로 재고를 쌓아두고 생산하는 방법임.
- 푸시 방식은 수요 예측을 통해 자재소요계획(MRP: Material Resource Planning)을 짜고, 그에 상응하는 원자재를 일괄처리(batch and queue)형식으로 조립 라인(assembly line)에 투입함.
- 통상 로트(lot)사이즈를 크게 하는데, 그 이유는 조립라인 개별 기계의 가동 효율(capacity utilization)을 높이는 데 있음. 각 기계의 단위처리 수용량은 다르게 마련이므로 기계 사이에는 자연히 재고가 누적되며 처리를 대기하는 줄(queue)이 형성됨. 따라서 푸시방식을 일괄처리방식이라고도 함.

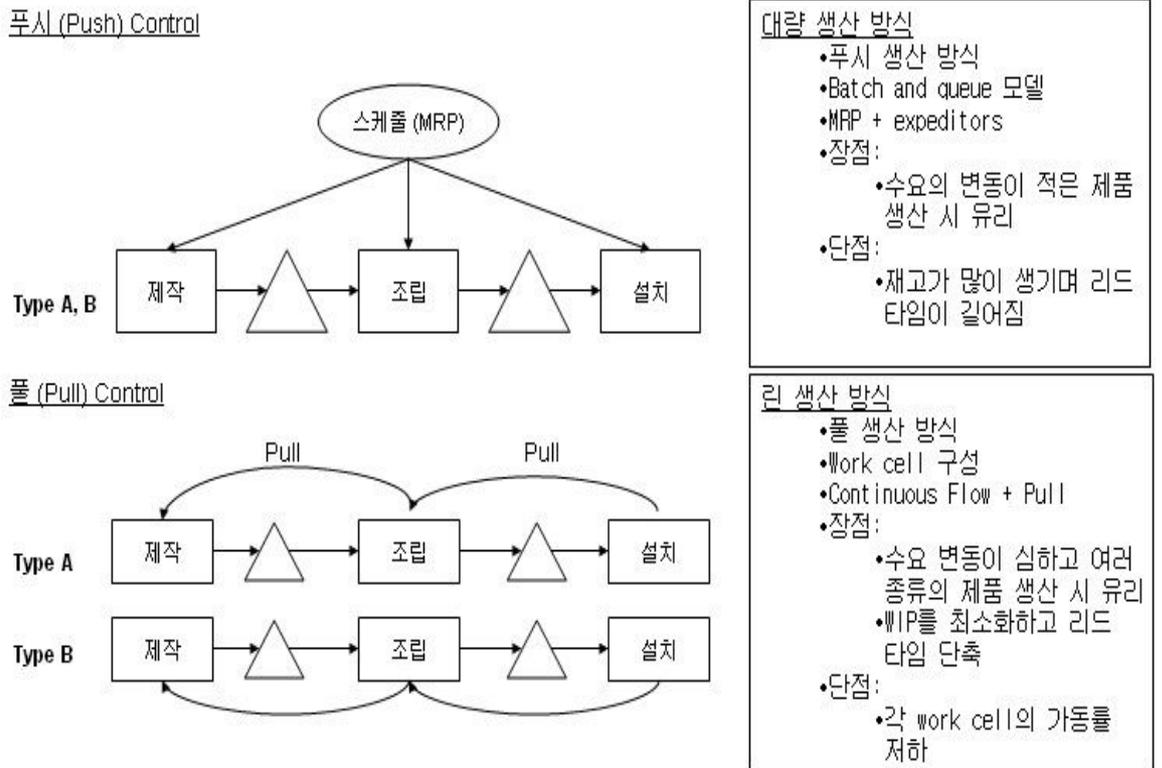
3) Ohno, T. (1988). "The Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production." Portland, Oregon: Productivity Press.

4) Takahiro, F. (1999). "The Evolution of a Manufacturing System at Toyota." New York: Oxford University Press.

- 푸시 방식의 장점은 수요가 안정된 경우 저비용으로 단일 품종의 대량 생산에 이상적임. 하지만 푸시 방식은 각각 기계의 1회 작업처리량(throughput)은 많지만, 모든 기계를 통과해서 완성제품이 나오기까지의 리드 타임(lead time)은 길어지게 되어 있음.
- 즉, 푸시 방식은 작업처리량은 높지만, 조립라인상에 수송재고(생산과정 중에 있는 물품, WIP: Work-In-Process)가 높고 리드 타임이 긴 단점을 갖고 있음.

- 이러한 체계에서는 수요 변화에 대응하기 힘든 단점을 갖고 있음.
- 즉, <그림-1>에서와 같이, Type A 제품을 위한 원자재를 일괄 처리 방식으로 투입 시키면, 조립 라인에는 Type A 원자재가 일괄처리형식으로 수송재고를 형성하게 됨. Type B 제품이 급히 필요하다면 기존의 원자재를 각각의 기계가 처리할 때까지 기다려야 함. 즉, Type B를 생산하기 위해서 Type A의 리드 타임만큼 기다려야 함.

<그림-1> 푸시 대 풀 방식



- 대량 생산 방식에서는 이런 문제점을 보완하기 위해서 일반적으로 두 가지 방법을 써 왔음.
- 급한 주문이 생겼을 경우 작업 촉진자(expeditor)들이 기존 라인상의 작업들을 중지 시키고, 필요한 제품의 원자재로 대체하는 것임. 이로 인해 상당한 혼잡이 생기는 경

우가 많음.

- 항상 수요를 맞출 수 있도록 재고를 최대한 많이 쌓아 놓는 것임. 하지만 이는 회사의 자본 회전을 및 현금 창출률을 극히 악화시켜 경영상의 상당한 압박을 가하게 됨.
- 따라서 푸시 방식은 유연성이 없고, 다품종이 요구되는 현대 시장 구조에서는 고객의 수요를 제때에 만족시켜주기 힘들게 됨.
- 이에 비해 린 생산 방식은 풀(pull)방식이라 하는데, 이는 재고를 최소화하기 위해서 고객의 주문 발생에 의해서만 생산이 개시되는 것임.
- 로트 사이즈가 큰 하나의 주생산 라인을 지양하고, 여러 개의 작업셀(workcell)을 구축하여 각 셀은 한 가지 품종만 전담 생산해냄. 하나의 셀은 다기능작업팀(cross functional team)으로 구성되어 완제품까지의 여러 생산 과정을 독자적으로 처리함.
- 작업셀 내의 기계들은 하위 기계에서의 자재 처리가 완료된 후에 생산을 개시하도록 하여 기계 사이의 재고를 최소화하고 연속흐름으로 생산 과정이 진행되도록 설계함.
- 이와 더불어 로트 사이즈를 최소화하고, 준비 시간을 단축, 작업 장간 부하 균일화, 부품과 작업 방식의 표준화, 납품업체와의 유대 강화를 지속적 개선의 목표로 삼음.
- 이와 같은 체계에서는 생산 라인 내에 수송재고가 푸시 방식에 비해 현저하게 줄어들고 대기 또는 유휴 시간을 없애어 리드타임을 줄여줄 수 있음. 그러므로 JIT 실현을 위해 필수적인 조건인 단시간에 다품종을 생산해낼 수 있는 체계가 가능해지는 것임.

## ■ 린 생산 방식과 건설 공사

건설 공사의 린 생산 방식-린 건설(Lean Construction)

- 린 건설(Lean Construction)은 영국의 Lauri Koskela<sup>5)</sup>가 1992년 린 생산 방식의 건설 프로젝트 적용 가능성을 제시한 이래 현재는 건설관리학계에 하나의 연구 분야로 자리 잡고 있음. 건설 프로젝트를 하나의 생산 과정으로 보고, 그 과정에서 발생하는 전반적

5) Koskela, L. (1992). "Application of the New Production Theory to Construction." Technical Report #72, Center for Integrated Facilities Engineering, Stanford University.

인 낭비 요소들을 도요타생산방식(TPS: Toyota Production System)이 제시하는 여러 기법들을 건설 프로젝트 현실에 맞게 응용하여 체계적인 개선을 꾀하는 것임.

- 요약컨대, 린 건설은 크게 현장 선후행작업자 간 연속흐름과 자재 연속흐름의 향상을 중시함. 현장 작업자 간에 존재하는 상호 의존성(dependency) 및 생산률(production rate) 차이로 인해 생기는 작업 흐름 변동률(workflow variability)을 최소화하기 위해서 'shielding<sup>6)</sup>', 'underloading<sup>7)</sup>' 등의 기법들을 제시하고, 자재의 주문, 배달 및 입고 프로세스를 풀(pull)방식으로 전환하여 JIT 입고 및 설치를 권장함. 또한 현장의 작업과 자재의 연계에 대한 필요성을 강조하며 이의 유지·관리를 계획 대비 이행률(일일 작업 신뢰도) 중심의 운영 및 평가를 중시함.

·<그림-2>에서와 같이, 건설 공사에서도 자재가 종종 현장의 공정 순서를 지배한다는 점에서 대량 생산 방식에서의 푸시 방식과 같은 성격을 띠게 됨. 공급업체들이 푸시 방식으로 생산 라인을 운영하고 이에 따라 로트 사이즈가 크며 리드 타임이 길고 일정치 못한 특성을 갖고 있음. 그러므로 현장에서는 계획에 맞춰서 일을 진행하는 데 어려움이 있음.

·또한 현장의 진척 정도를 측정하는 EVM방식은 선후행작업자 간 상호 의존성을 고려하지 않고 각 업체의 개별성과를 측정하기 때문에 업체 선후행작업간의 연속된 흐름을 지원하지 못함<sup>8)</sup>.

- 이에 대해 린 건설 방식은 다음과 같은 린 생산 방식의 응용을 권장함.

·풀 방식에 의한 자재 입고 : 현장이 필요로 하는 자재를 필요한 때에, 필요한 만큼 생산할 것을 권장. 이는 자재의 불필요한 재고를 최소화할 뿐만 아니라 건설 프로젝트 특성상 설계 변경 및 돌발 상황에 의해 생기는 자재의 장시간 야적과 누락을 막을 수 있음. 이를 위해서는 자재 가공 및 조립 시간의 표준화 및 로트 사이즈, 리드 타임의 단축이 중요함.

·흐름 위주의 협업 작업 구축 : 현장의 여러 선후행작업자들 간에 작업 연속성 확보를

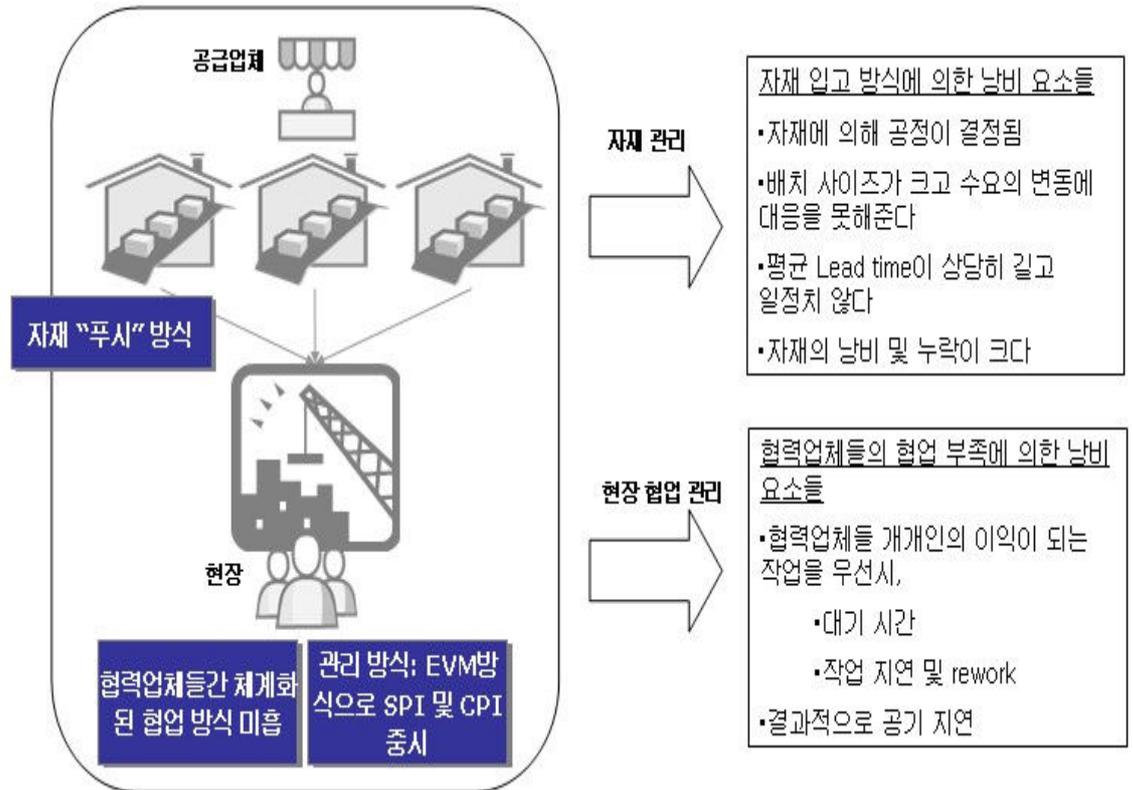
6) Shielding: 계획된 작업 중 사전 준비 작업, 자재, 정보등의 선행 조건들이 만족되고 인력 및 장비가 기간내에 소화할 수 있는 작업만 실행하도록 하여 현장 생산성을 높이는 방법

7) Underloading: 생산 유닛(production unit) 작업처리량의 100% 보다 낮은 (예: 80%) 작업량을 부과하여 불확실성에 대응할 수 있는 여유를 두어 작업흐름을 안정화시키는 기법

8) Kim, Y. and Ballard G. (2000). "Is Earned Value Method an Enemy of WorkFlow." Proceedings Eighth Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC-6, Brighton, UK, July 17-19.

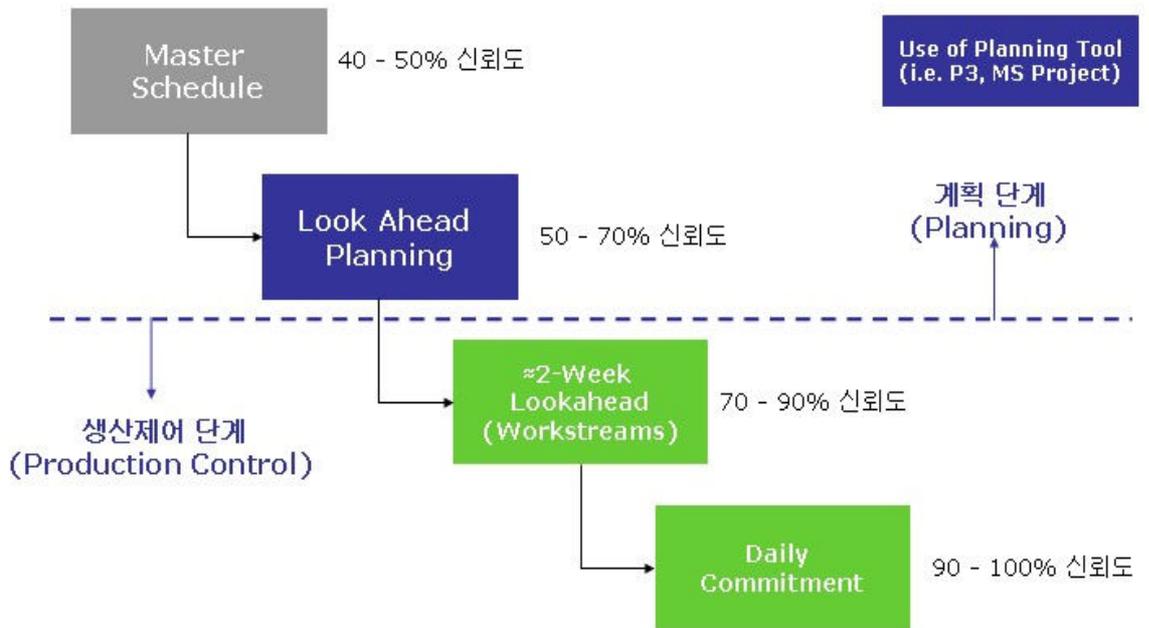
중시하고 일정한 작업 속도의 유지를 통한 공사 기간의 단축이 가능함을 제시함. 또 각 작업자는 작업 착수 전에 제약 요인 분석(Constraint Analysis)을 정기적으로 행하여 준비 항목(Make Ready)들을 추려내고 이의 실천을 통해서 상호 이행 작업을 실천할 것을 권장함.

<그림-2> 건설 프로젝트의 생산 관리 방식



·세부 작업 단위에서의 현장 운영을 통한 선후행작업자 간 협업 관리: 기존 EVM 방식은 계획 단위의 작업들을 대상으로 SPI/CPI를 측정하여 공사 관리를 행함. 그러나 통상적으로 계획 단위에서의 공정은 현장에서 일일 단위로 일어나는 여러 가지 세부 단위 작업들을 표현하지 않음. 예를 들어, 월 단위 공정표에 나타나 있는 철골의 설치를 본다면, 이를 위해서는 현장에서 크레인이 필요하고, 철골의 주문 및 입고가 필요하고, 올바른 설치를 위해서 실시 설계도가 미리 준비돼야 함. 이렇듯 다양한 작업자 간 연결된 세부 준비 작업들은 월 단위 공정표에 나타나지 않지만, 한 가지 사항이라도 준비가 선행되지 않는다면 철골의 설치는 계획대로 실행되지 않음. 결국, 현장에서는 이런 세부 작업들이 계획대로 실행되어야만 해당 공사의 공기 및 공사비의 관리가 가능한 것임. <그림-3>에서 보듯이, 주공정의 계획 대비 실행 신뢰도는 통상 50~60% 선이지만, 일일 작업 신뢰도를 90~100% 상향시킬 것을 권장함.

<그림-3> 린 생산 방식에서의 신뢰도를 제어하는 단계



·현장 세부 작업과 자재의 연계: 현장의 작업 프로세스들을 세부 작업 단위에서 계획하고, 이 작업들과 자재의 조달 프로세스(주문, 조립, 가공, 운송, 입고)를 직접 연계하여 관리할 것을 권장함. 즉, <그림-4>에서와 같이, 자재를 대량으로 주문하는 것이 아니고 세부 작업이 필요한 만큼의 자재를 주문하고, 그 작업이 실행될 날짜에 맞춰서 주문을 할 것을 권장함. 이의 실천을 위해서는 현장의 작업이 계획된 날짜에 맞춰 일어나야 하고 그와 동시에 필요한 자재의 현장 입고 날짜도 이에 맞춰져야 함. 이를 위해서는 현장 및 조달 프로세스들의 표준화가 중요함.

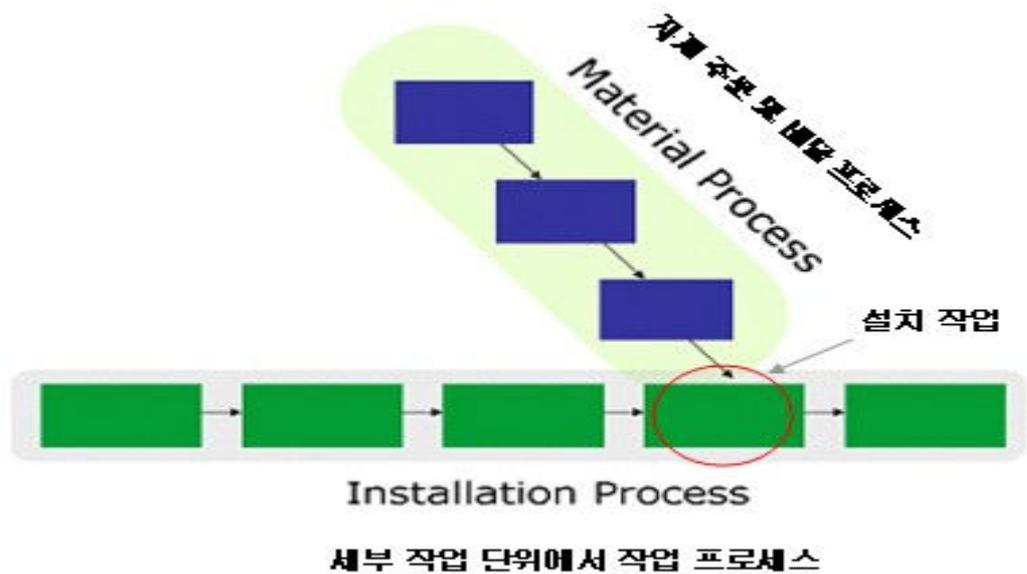
·신뢰도 중심의 핵심성과지수(KPI: Key Performance Index)로 성과 측정 : 자재의 풀 방식 입고 및 선후행작업자들 간의 연속 흐름의 체계 구축, 그리고 이의 세부 작업 단위에서의 운영 및 관리를 위해서 EVM 중심이 아닌 신뢰도 중심의 평가를 중시함. 현장에서의 일일작업신뢰도(PPC: Planned Percent Complete) 및 자재 야적 대기 시간 등의 KPI를 통해 현장 공정 진도를 평가할 것을 권장함

풀 방식의 적정 적용 대상 프로젝트

- 린 건설 방식은 생산 과정의 낭비를 줄인다는 데에 있으므로 모든 건설 프로젝트에 적용이 가능하지만, 발주 형태로 봤을 때에는 패스트 트랙으로 진행되는 대규모 턴키공사

에서 가장 적용 효과를 크게 볼 수 있음.

<그림-4> 세부 작업 단위에서 현장 작업 및 자재 조달 프로세스와의 연계



- 턴키방식 공사에서는 설계가 완성되지 않은 상태에서 시공을 개시하는 경우가 일반적임. 이는 시공 중 설계 변경이 많이 생길 소지가 그만큼 높은 것임. 이런 프로젝트에서는 자재 구매 및 입고를 최대한 늦출 수 있도록 하는 것이 유리함. 미리 대량 주문을 안 해도 되면, 그만큼 설계에 대한 결정을 미룰 수 있고, 그만큼 설계에 대한 유연성을 확보할 수 있음.
- 또한, 대규모 사업에서는 구매량이 높아 납품업자들이 한 프로젝트에 전담 공급을 할 수 있으므로, 자신들의 생산 과정을 린으로 전환하는 데에 있어서 부담을 줄여줄 수 있음.

## ■ 적용 사례: 영국 히드로공항 제5터미널 신축공사

영국 히드로공항 제5터미널 신축 배경

- 영국 히드로공항은 세계에서 가장 바쁜 국제공항 중 하나로 유럽과 전 세계를 연결시

켜 주는 항공 교통의 허브로서 세계 최고 국제공항의 위상을 자랑함.

- 급격히 늘어나는 유동 인구 수에 부응하기 위해 현재 연간 승객 수용 한도 6,500만 명에서 9,000만 명으로 늘리기로 계획함. 현재 4개의 여객터미널과 1개의 화물터미널 및 6개의 활주로로 구성된 공항에 제5터미널 신축이 2001년에 허가를 받음.
- 환경 단체들의 거센 반대와 실효성 여부에 따른 논란 끝에 2002년 착공에 들어가 2008년에 완공 예정인 제5터미널은, 미래 항공기들의 대형화 추세에 맞춰 활주로 및 터미널 간격 사이를 확장하고 최첨단 보안 및 안전시설을 갖춘 설계로서 6조원 예산이 잡힘.

#### 발주자 영국공항공단(BAA: British Airport Authority)

- 영국공항공단은 세계에서 가장 큰 공항공단으로, 영국 항공객의 70%, 항공화물 수송의 82%가 이 공단에서 관리하는 공항을 통하여 처리되는데 연간 국내 여객 수는 1억 400만 명이고 해외 여객 수는 2,500만 명임. 1987년에 민영화됨.
  - 관리 대상 공항은 히드로공항(Heathrow Airport), 개트윅공항(Gatwick Airport), 스탠스테드공항(Stansted Airport), 글래스고공항(Glasgow Airport), 에든버러공항(Edinburgh Airport), 애버딘공항(Aberdeen Airport), 사우샘프턴공항(Southampton Airport) 등 7개 공항이 있음.
  - 이외에도 호주, 오스트리아, 이탈리아 및 미국에도 공항 소매업 및 관리 계약을 맺고 있음.
- 영국공항공단은 히드로공항 제5터미널 공사를 기획하면서 발주 초기 단계부터 자체적으로 총 사업비 및 공기 10% 절감을 목표로 세우고 이의 실현을 위해서는 설계, 구매, 시공에서의 프로세스 관리 및 3D CAD을 응용한 시공 분석을 통한 생산성 향상이 그 해결책일 수 있다고 판단했음.

#### 린 생산 방식의 도입 배경

- 영국 공항 공단이 린 생산 방식을 히드로공항 제5터미널 신축 공사에 적용한 이유는 크게 네 가지로 볼 수 있음.
  - 발주 형태 : 턴키방식 공사이자 패스트 트랙으로 진행된 이 프로젝트에서는 설계가

완료되기 이전에 시공이 들어가는 경우가 많아 자재의 주문 조립 및 가공을 최대한 늦춰야 했음.

·히드로공항 제5터미널 현장 조건 : 런던으로부터 서남쪽 24km 에 위치한 제5터미널은 현장의 위치상 많은 제약을 받고 있음. 특히 대규모 프로젝트이지만 가용 야적장 부지가 부족함. 그러므로 현장으로 반입되는 모든 자재는 반드시 1일 내에 처리되어야 함. 더불어 모든 자재는 하나의 입출구로 통과해야 하는 제약을 받고 있음. 인근 주거 지역의 교통 및 공사 소음 방지를 위해 하루 중 입고 시간이 제한되어 있어서, 허락된 시간 중에는 평균 30초마다 자재 및 장비가 배달됨.

·80개가 넘는 현장 조직 : 현장 내에는 80개의 부분별, 공종별 프로젝트가 동시에 진행되고 있음. 이들 개별 프로젝트는 소요 자재를 적재적소에 공급해줘야만 원활한 공사를 보장할 수 있음.

·“건설 재인식”(Re-thinking Construction) 보고서 : 당시 영국의 건설 산업 전반에 걸쳐서 정부 주도하에 타산업과 버금가는 생산성 향상을 요구받고 있었음. 영국의 Egan경은 Re-thinking Construction 보고서에서 정부, 발주자 및 건설 업체들의 모범 사례 실천을 통해 영국 건설 산업의 비효율성 및 비생산성 요인을 제거하고 수행능력 향상 및 비용효과 향상을 추구할 것을 요구함. 궁극적인 목표로 영국 건설 산업 전반에 걸쳐 생산성 30% 향상을 꾀하고 있음. 이 리포트 중에는 미국 일부 건설회사

들이 비효율성 제거의 해결책으로 린 생산 방식을 건설 프로젝트에 적용한 사례를 인용하며 광범위한 벤치마킹 대상이 되고 있음.

- 이에 영국공항공단은 현장에서 반입되는 모든 자재에 JIT방식의 도입을 계획하고 모든 업체들에게 린 생산 방식으로 작업을 운영할 것을 권장함.

## 린 생산 방식의 도입

### • 기초 인프라의 구축

- 영국공항공단은 야적장 부지 해소를 위해 현장 인근 지역에 두 개의 대형 물류 창고

(logistics centre)를 개설하고, 모든 자재 및 장비는 우선적으로 창고를 거친 후 현장에 반입되도록 구축<sup>9)</sup>

- 기본 자재는 현장에서 자체적으로 조달할 수 있도록 철근 가공장, 콘크리트 배치 플랜트, PC 제작공장 직접 운영
  - 철근/Pre-cast/HVAC 모듈/지붕을 모두 선조립 방식으로 할 것을 요구하여 현장에 적재되는 자재를 최소화할 수 있는 시공 기법 추구
  - 현장 업체들이 표준화된 방식으로 자재를 주문하고, 현장 선후행작업자들 간 연계된 작업 진행을 위해서 린 생산 방식을 위해 미국 Strategic Project Solutions(SPS)사에서 개발한 SPS Production Manager라는 통합 관리 시스템 사용
- <그림-5>에서와 같이, SPS Production Manager는 린 건설의 실천을 위해 미국 SPS사에서 개발한 웹툴도구(web-based tool)임.

<그림-5> SPS Production Manager의 주요 모듈



·세부 작업 단위에서 계획 및 제어, 신뢰도를 측정, 프로세스를 표준화, 데이터 베이스화,

9) T5 Inform, Issue 12, Autumn 2004 (<http://heathrowairport.com>), Laing O'Rourke Annual Review, 2004

그리고 자재와 세부 작업을 연계할 수 있는 기능이 있음.

- 이렇게 구축된 인프라의 사용을 계약적으로 명시하지는 않았지만, 실제로 모든 자재의 반입은 대형 물류 창고를 통과하고 SPS Production Manager를 통해서만 주문이 가능토록 하였음. 그러므로 실질적으로는 모든 업체들이 JIT방식을 쓰도록 발주자가 강제하는 형태임.

#### • 현장작업자들의 세부 작업 단위에서의 계획 및 이행

- JIT 방식으로 자재를 적시에 적재적소에 배달하는 것만큼 중요한 것은 자재를 계획대로 쓰는 것임. 현장에 쌓이는 재고량 방지를 위해서, 런 실천의 첫 단계는 현장 선후행 작업자들이 생산 단위에서 세부 계획을 세우고, 그 계획대로 이행할 것을 요구하고 관리하는 것임.
- 현장 업체들이 세부 작업 단위에서 실현 가능한 계획을 짜고 신뢰도를 유지하며 작업을 진행하기 위해서 다음과 같은 단계를 모든 업체들이 따르도록 함.

##### ① 프로세스 매핑 세션을 통해 계획 수립 <그림-6>

- 2주 또는 3주 계획된 마일스톤 선정 (필요시 마일스톤을 세부 단위의 조립단위 (assembly package)로 분개)
- 관련 업체들끼리 다기능공사팀(cross functional team)을 구성하고 프로세스 매핑 (process mapping) 워크샵을 통해 제약 요인 분석(constraint analysis) 실시
- 다기능공사팀에는 설계자, 시공사 감리 및 자재 납품업체 등 프로세스에 관련된 모든 업체들의 참여를 기본으로 함.
- 작업의 순서, 크기 및 역할이 정의된 작업흐름도 (workstream) 작성

##### ② 일일 단위로 계획 실천 여부 측정 <그림-7>

- 작업흐름도를 SPS PM에 입력
- 일일 단위로 계획 대비 실천 작업을 측정하여 신뢰도 및 작업지연사유를 기록

<그림-6> 프로세스 매핑 워크숍을 통해 세부 작업 계획



2-3주 앞에 마일스톤 선정

다기능 팀(cross functional team)이 프로세스 매핑 세션에 참여

작업 순서, 크기 및 역할이 정의된 작업흐름도 작성

<그림-7> SPS PM을 통해 세부 작업 계획 실천 및 측정



작업 흐름도를 SPS PM에 입력

완료 시점에 맞춰서 기입

일일 단위로 계획 작업 완료 여부 및 작업 지연 사유 기록

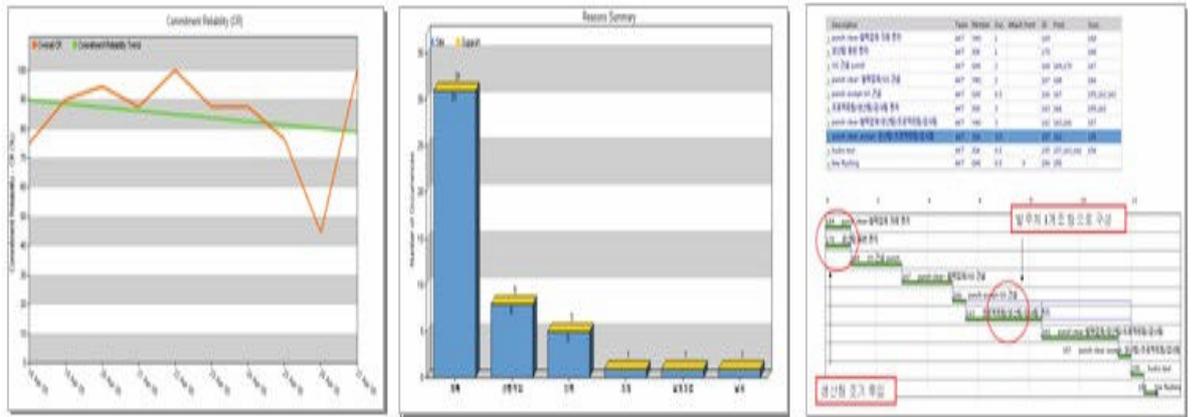
③ 프로세스 표준화 및 데이터베이스화 <그림-8>

- 작업 지연 사유를 토대로 하여 개선점 발견 후 프로세스에 재도입
- 반복을 통하여 프로세스를 표준화 및 데이터베이스화

- 이와 같은 프로세스를 반복하여 각 현장 업체들은 세부 작업 단위에서의 계획 및 제어하는 방법을 익히며 자체적으로 신뢰도를 유지할 수 있는 노하우 습득
- 현장의 모든 업체들에게 이런 과정을 통해 자체 프로세스를 유지 관리함으로써 현장의

변이성을 최대한 줄이는 것이 목표임.

<그림-8> 2-3주간 신뢰도 및 작업 지연 사유 분석, 개선점 발견 및 반영



2-3주 신뢰도 측정 및 분석

작업 지연 사유 측정 및 분석

분석을 통해 개선점 발견 및 작업흐름에 재 반영

• 자재의 풀 방식 도입

- 제5터미널 공사에서는 현장이 필요로 하는 여러 자재를 주문하는 기존의 방법에 일관성이 없고 표준화된 프로세스가 없었음.
- 주문과 배달 사이의 리드 타임 변동률이 높아 현장 작업 신뢰도 유지에 악영향을 주었음.
- 이는 대부분의 자재들이 전형적인 푸시 방식으로 운영되어 주문량이 일정량 쌓인 후에만 가공이 개시됨. 이에 따라 리드 타임이 일정치 못하고 현장에서는 자재가 원활히 공급이 되지 않아서 대기 및 유휴 시간이 높아지게 되는 현상이 발생함.
- 이에 영국공항공단은 SPS사와 함께 제반 자재에 대해서 풀 방식으로의 전환을 모색.
- 자재를 크게 세 가지(MTS, MTO, ETO<sup>10</sup>)로 분류하여 MTS는 간판 형태를 빌린 ‘장터(Market Place)’를 구축하고, MTO 자재는 풀 방식 중 CONWIP<sup>11</sup>) 방식을 구축
- 특히 MTO 자재에 대해서는 가치흐름도(value stream mapping)의 작성을 통해 자재의 주문, 가공/조립, 물류 창고에서의 야적, 입고 및 설치 과정, 그리고 및 기존의 리드 타

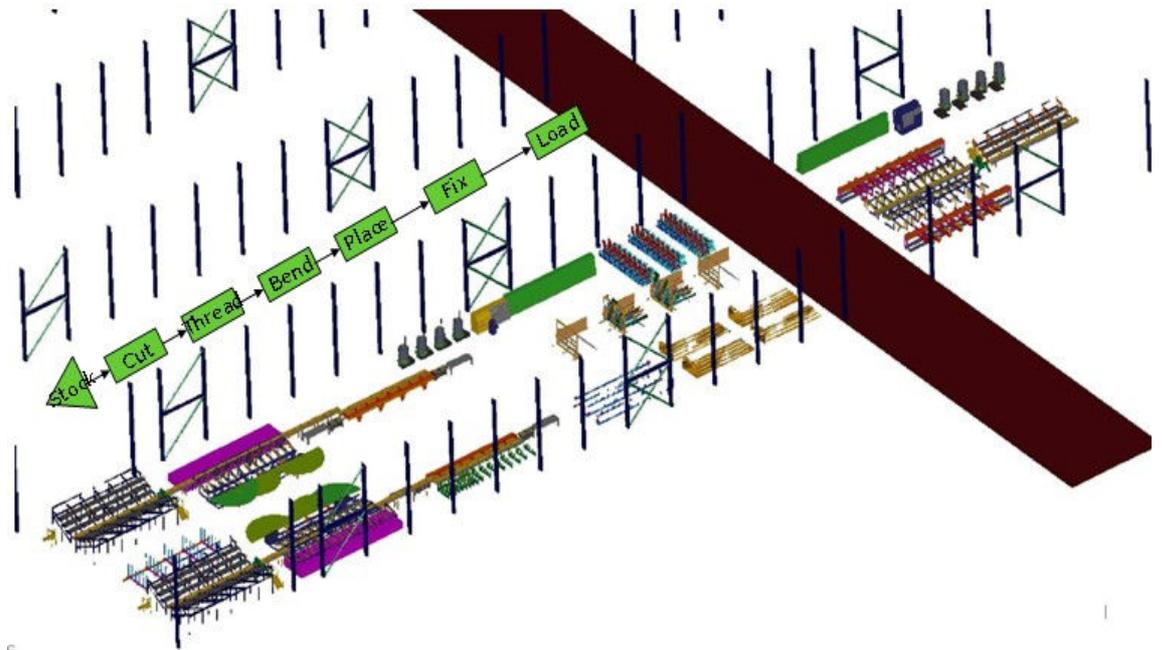
10) MTS: 재고생산 (Made-To-Stock), MTO: 주문생산 (Made-To-Order), ETO: 주문설계생산 (Engineered-To-Order)  
 11) CONWIP: Constant WIP(Work In Process)의 약자로서, 라인에서 완성된 로트가 한 개 빠져나갈 때마다 라인에 새로운 로트를 한 개 투입하여 라인 전체의 수송재고를 일정하게 유지하는 풀 방식의 일종

임 및 작업처리량 파악

예를 들어 철근 가공장은 현장에서 필요로 하는 각종 철근 구조물을 전담 생산해 냄. 기존 방식으로는 평균 리드 타임이 15일이었으며 변동률은 +/-5 일로 관측됨.

이에 따라 가공장 생산 라인을 풀 방식으로 전환함. 즉, <그림-9>에서와 같이 철근 구조물을 여러 군으로 나누어 (슬래브 철근, 벽 철근 등등) 각각의 조립라인은 한두 가지의 제품만 전담 생산하고, 주문 대기 시간의 제거와 주문 동시 생산 착수가 가능하도록 함. 또한 철근 가공장에서 필요로 하는 자재명세서(BOM: Bill Of Materials)를 현장에서 3D CAD 모델로부터 뽑아내어 주문 시간도 단축함(<그림-10> 참조).

<그림-9> 철근 가공장 조립 라인 배치도



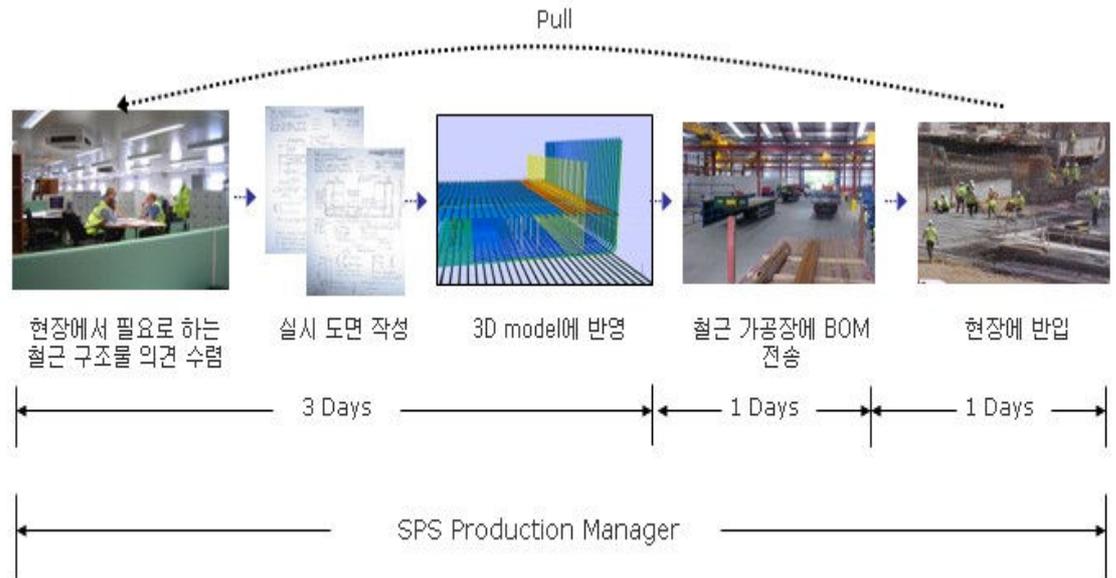
- 이로 인해 현장의 어느 작업팀도 철근 구조물 주문시 5일 후에 반드시 배달되게 함으로써 현장에서의 작업 신뢰도를 향상시켰음.

- 이와 유사한 방법을 통해 현장에서 필요로 하는 자재(콘크리트, 철근 콘크리트, 목재 구조물, 폴리스티린 부재(cellcore) 등)의 주문 및 배달 절차의 표준화를 이뤄냄.

• 신뢰도 위주의 KPI로 유지 관리

- 세부 작업 단위에서의 관리와 현장으로 반입되는 제반 자재들을 풀 방식으로 연계시킴

<그림-10> 철근 구조물에 대한 풀 방식 적용 사례



(주) 철근 가공장이 필요로 하는 BOM (Bill of Materials) 및 BS (Bending Schedule) 를 3D model에서 자동으로 출력, 가공장에 있는 소프트웨어 Arma+에 SPS PM을 통해 전송

으로써 린 건설이 지향하는 연속흐름 위주의 작업을 가능케 함.

- 이와 함께 구축된 린 체계를 계속 사용하고 현장 업체들이 지속적 개선을 꾀하는 노력을 정기적으로 행하도록 유도하기 위해 각 업체를 평가할 수 있는 KPI를 구축함.
- <그림-11>에서와 같이, 일일작업신뢰도(PPC), 콘크리트 주문 대비 타설 신뢰도, 철근/PC 야적장 대기 시간, 철근/PC 사이클 시간(턴어라운드 시간) 등의 KPI로 현장 업체들을 상대 평가함. 이들 지표는 계획 대비 이행률을 측정하는 지표들로서, 기존 EVM방식의 진도 위주의 측정이 아닌 실행 여부를 평가하는 신뢰도 위주의 KPI임.

<그림-11> 제5터미널 공사에서 쓰인 KPI 예제

Team Dashboard Report - Site & Logistics:																	4 Weeks: 11 June 04 - 8 July 04			
Score	Team	Avg. # of Tasks on Plan	PPC		Concrete Reliability		Weighted Concrete Reliability		Rebar Wait at LC		Precast Wait at LC		Rebar Turnaround Time		Precast Turnaround Time		% Concrete Orders Within 2 hrs		% Concrete Vol. Within 2 hrs	
			Avg	Trend	Avg	Trend	Avg	Trend	Avg	Trend	Avg	Trend	Avg	Trend	Avg	Trend	Avg	Trend	Avg	Trend
1.71	Substructures - T5B North SRC	6	98%	→	79%	N/A	96%	N/A	.7 day	↓	N/A	N/A	1:57	→	N/A	N/A	89%	↔	97%	↔
1.33	HATCT - Production	4	95%	↔	N/A	N/A	N/A	N/A	.0 day	↓	N/A	N/A	4:22	↔	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
1.14	Substructures - Rail Box Station	19	92%	↔	82%	N/A	90%	N/A	.9 day	→	N/A	N/A	2:01	↔	N/A	N/A	69%	→	81%	↓
1.14	Airfield - Phase OC SAR	24	95%	→	74%	N/A	86%	N/A	.6 day	↓	N/A	N/A	2:17	↔	N/A	N/A	68%	→	84%	↔
1.11	T5B Superstructures	8	89%	↔	40%	N/A	94%	N/A	.6 day	↓	.8 day	↓	2:28	↔	6:14	↔	60%	→	97%	→
1.00	Substructures - T5B HOS Nodes	11	81%	N/A	91%	N/A	96%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	46%	N/A	48%	N/A
1.00	T5A Superstructures	4	84%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0.86	Substructures - T5B TTS Tunnels	7	93%	→	58%	N/A	74%	N/A	1.2 day	↔	N/A	N/A	1:57	↓	N/A	N/A	40%	↓	71%	↔
0.71	Substructures - T5B Central SRC	9	93%	→	69%	N/A	87%	N/A	1.7 day	↔	N/A	N/A	2:05	↔	N/A	N/A	63%	↔	82%	↔
0.67	MSCPS - Building	7	83%	↓	35%	N/A	85%	N/A	1.3 day	↔	1.8 day	→	1:37	↓	3:10	→	41%	↓	83%	↔
0.56	Substructures - T5A Low Level EBS	17	80%	↓	60%	N/A	54%	N/A	3.5 day	↔	1.2 day	↔	2:28	→	1:31	→	49%	↔	40%	↓
0.56	Substructures - T5A Suspended SRC	10	91%	→	63%	N/A	71%	N/A	2.2 day	↓	1.8 day	↓	2:01	↔	0:41	↓	59%	↔	60%	↔
0.43	Substructures - T5A High Level SRC	7	83%	↔	48%	N/A	68%	N/A	3.6 day	↔	N/A	N/A	1:34	↔	N/A	N/A	49%	→	57%	↓
0.40	Landside Infrastructure	18	83%	N/A	47%	N/A	67%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	64%	N/A	74%	N/A
0.20	Substructures - T5B Baggage Tunnels	18	83%	N/A	50%	N/A	50%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	48%	N/A	39%	N/A
0.56	Entire T5 Project	N/A	86%	↓	52%	N/A	73%	N/A	1.4 day	↔	1.6 day	↓	2:04	↓	0:56	↓	58%	→	67%	↔
	Goal		90%	↔	90%	↔	90%	↔	1.0 day	↓	1.0 day	↓	2:00	↓	2:00	↓	90%	↔	90%	↔
	"Acceptable" level		80%		70%		75%		1.5 day		1.5 day		2:30		2:30		70%		70%	

→ = worse than target / goal      Scoring: Above goal (2 points)

↔ = better than or equal to target / goal      Between acceptable level and goal (1 point)

Below acceptable level (0 points)

Equal to or greater than target

Above acceptable standard but below target

Below acceptable level

• 적용 효과

- 이와 같이 현장 업체들의 세부 작업 단위에서의 계획 및 실천, 자재의 풀 방식 도입 및 신뢰도 위주의 KPI를 이용한 유지 관리로 인해 다음과 같은 성과를 얻을 수 있었음.
- 대형 물류 창고에서의 현장 반입 대기 시간을 줄여 병목 현상을 해소함으로써 현장 업체들의 원활한 자재 공급을 가능케 함.
- 리드 타임이 줄어들어 자재 주문을 최대한 늦출 수 있는 유동성이 생김. 이에 따라 현장에서는 단기 계획을 확실히 이행해야 하는 의무는 있지만, 장기 계획에 대해서는 결정을 늦출 수 있는 여유가 생김.
- 선행업체와의 작업 조율 미달로 인해 발생하는 후행업체의 대기 및 유휴 시간을 최소화할 수 있고, 더불어 재시공 작업(rework)도 줄일 수 있었음.
- 모든 현장 업체들을 통합된 시스템으로 관리함으로써 표준화를 이루고 상호 의사소통을 원활하게 할 수 있는 체계를 수립하는 데 성공하였음.

- 이러한 효과로 인해 영국공항공단은 현재까지 계획된 공기 및 공사비에 맞춰서 공사를 진행하고 있음. 또한, 현재까지 계약금액의 10%를 절감했다고 발표함. 공기 지연 및 예산 초과라는 고질적인 문제를 갖고 있는 대규모 프로젝트에서는 의외의 성과로서 영국의 대규모 사업 중에서도 40년 만에 처음 있는 일이라고 함.
- 또한, 이 프로젝트에 참여했던 업체들은 린 건설 방식을 벤치마킹하여 현재 영국의 다른 대규모 건설 공사에서도 린 생산 방식을 채택하고 있음.

## ■ 시사점

- 본 고에서는 린 생산 방식을 건설 사업에 적용하기 위해 특성화된 린 건설의 개념들을 소개하고, 이를 실제 영국 히드로공항 제5터미널 공사에 적용한 사례를 제시하였음.
- 히드로공항 제5터미널 공사와 같은 대규모 터키 사업에서의 린 건설 적용이 실제로 가능할 뿐만 아니라 대규모 프로젝트에 내재된 리스크를 효과적으로 제어할 수 있음을 입증했다는 점에서 시사하는 바가 큼.
- 히드로공항 제5터미널 공사에서 린 생산 방식을 도입하게 된 1차적 요인은 현장 작업 조건상 자재 조달 방식을 해결하려는 목적에서 비롯되었음. 이는 풀 방식을 도입함으로써 물류 창고에서의 병목 현상을 해소하여 현장 업체들에게 원활한 공급을 제공해주는 효과를 얻었음. 또한 업체들 간의 세부 작업 단위에서의 연계된 계획 및 실천을 유도함으로써 이들 간에 존재하는 낭비 요소(유휴 시간 등)를 줄여 주는 효과도 얻었음.
- 이와 같이 린 건설 방식은 현장에서 일어나는 각종 프로세스에 내재되어 있는 낭비 요소들을 발견하고 이를 체계적으로 줄여 주는 노력을 하는 것이 그 근본 취지라 할 수 있음.
- 본 고에서는 자재 조달 방식을 풀 방식으로 전환시킨 사례를 집중 소개했으나, 린 건설 방식에서는 현장 업체들 간 작업 연속성 확립도 중요한 성공 요소로 보고 있음. 즉, 공사 여건상 자재를 풀 방식으로 전환하지 못하더라도 현장 업체들 간 세부 작업 단위

에서의 협업체계를 구축함으로써 유희·대기시간 및 재시공 작업(rework)을 상당 부분 감소시켜 주는 효과를 볼 수 있음. 예를 들어, 다양한 업체들이 상호 연계된 작업이 요구되는 도심지 건축공사에서도 업체들 작업 간 연속 흐름 구축을 통하여 효과적인 공사 관리가 가능할 것으로 사료됨.

- 이와 같이 린 건설은 어느 특정 사업 분야나 발주 형태에 제한시키기보다는 개별 사업의 특성에 맞게 적용하는 것이 가능하다고 판단됨. 단지, 린 건설의 적용은 다음과 같은 현실적인 조건들이 만족되어야 한다는 점도 유의해야 할 것임.

·자재와 연계된 세부 작업 단위 계획 수립 및 실천을 위한 운영 체계: 현재 대부분 국내외 건설업체들이 EVM 방식 및 CPM을 근거로 한 공정 관리 시스템을 현장 운영의 기본 시스템으로 사용하고 있음. 하지만 린 생산 방식의 실천을 위해서는 본 고에서 소개한 바와 같이 세부 작업 단위에서 작업들을 정의하고 이를 자재 조달 프로세스와 연계하여 관리할 수 있는 시스템 구축이 필요할 것이라고 사료됨. 또한 이들 시스템이 개별적으로 운영되는 것이 아니고 유기적으로 연계되는 것이 이상적이라고 판단됨.

·푸시/풀 방식의 혼용 체계 구축: 린 생산 방식에서는 자재의 가치 흐름 전반에 풀 방식의 적용을 이상적으로 보고 있으나, 현실적으로 푸시/풀 방식의 적당한 혼합 체계 구축이 필요함. 예를 들어 국내에서는 대부분 대형 업체들이 연간 철근량을 시황에 따라 대량 구매하고 있음. 하지만 철근 구매 후 개별 현장 투입 단계에서 부터는 본사가 아닌 현장에서 필요로 하는 양을 주문하고 가공, 조립, 운반, 입고, 설치 등의 프로세스를 풀 방식으로 전환해야 할 것임. 이와 같이, 모든 자재를 풀 방식으로 전환하기보다는 주문 물량 및 생산 시설의 인접 정도, 발주자의 구매력(bargaining power)등을 고려하여 선별적 적용을 하는 것이 중요하다고 판단됨.

·적정한 안전재고 확보: 린 생산 방식은 궁극적으로 무재고(zero inventory)를 지향하지만, 건설에서는 불확실성 때문에 어느 정도의 안전재고(safety buffer)를 확보해야 하는 현실적인 측면도 있음. 안전재고의 적정 수준은 현장 업체들의 생산성, 야적장 부지, 납품업체의 운반 비용 등, 다각적인 차원에서 현장의 특성에 따라 결정되어야 하고, 재고량을 최소화하는 방향으로 설정되어야 할 것임.

·발주자 및 원도급자의 주도적 역할: 이 공사에서 또 한 가지 주목할 점은 발주자가 주

도적인 역할을 하여 시공사들이 효과적으로 일을 할 수 있는 기반을 마련해 줬다는 점임. 이는 새로운 기법을 성공적으로 실행하기 위하여 발주자 또는 원도급자의 리더십의 중요성을 잘 보여준 예라 할 수 있음.

- 국내에서도 여러 대형 공사를 턴키방식으로 발주하는 경향이 늘어나고 있음. 하지만, 실제로 이런 공사를 체계적으로 표준화시킨 방식은 아직 미흡한 실정임. 향후 국내외 공사에서 공사비 및 공기를 확실히 제어할 수 있는 방법을 찾고 현장을 관리하고 자재를 조달할 수 있는 능력을 보여 리스크를 관리하는 요구가 늘어날 것임. 린 생산 방식은 국내 건설업체들 뿐 아니라 발주자들에게도 생산성 향상에 관한 해법을 제시해 줌.

구본상(책임연구원, bkoo@cerik.re.kr)