

# 건축 산업의 산업화

작성자: Dr. Perry Daneshgari 및 Heather Moore

도우미: Greg Bau

01-02-13

미국인의 삶의 질은 부분적으로 주택, 사무실, 공장, 쇼핑센터, 병원, 공항, 대학교, 정제 공장, 도로, 다리, 상하수도 및 기타 인프라를 포함한 미국 건축 산업의 창조물에 달려 있습니다. 2007 년에 건축 산업은 6,110 억 달러 또는 국내 총생산(GDP)의 4.4%를 차지하여 정보, 예술 및 엔터테인먼트, 유틸리티, 농업 및 광업 등의 다른 산업보다 규모가 컸습니다(BEA, 2008). 관련 종사자가 거의 1,100 만 명(전체 미국 근로자의 약 8%)이며 건물 및 인프라의 가치는 1 조 1,600 억 달러입니다(2008 년 미국 인구 조사). (National Research Council. *Advancing the Competitiveness and Efficiency of the U.S. Construction Industry*. Washington, DC: The National Academies Press, 2009.)

다른 산업과 마찬가지로 건축 산업도 생산성 향상, 비용 절감 및 낭비 최소화를 위해 끊임없이 노력하고 있습니다. 그러나 지난 100 년간 제조산업의 생산성이 400% 향상되는 동안 건축 산업의 생산성은 변화가 없거나 약간 떨어진 것으로 나타납니다(그림 1).

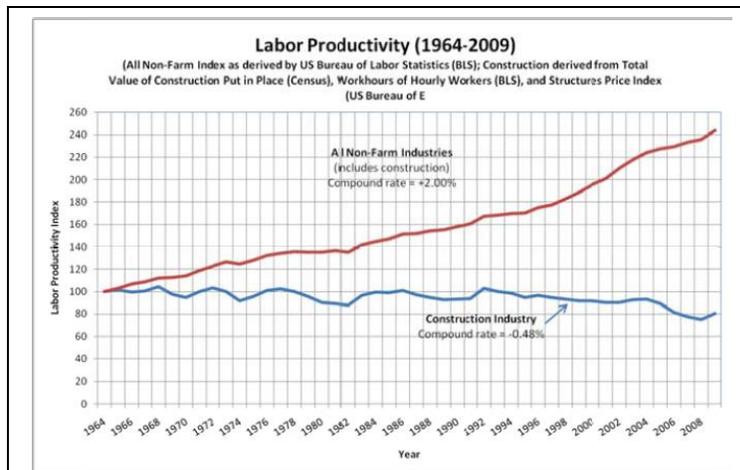


그림 1 (출처: Chapman and Butry, "Measuring and Improving the Productivity of the U.S. Construction Industry: Issues, Challenges, and Opportunities." Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, MD, 2008.

제조 및 기타 산업의 생산성 향상의 주된 원인 중 하나는 이들 산업군의 “산업화”입니다. 모든 산업의 산업화는 다음 5 가지 요소에 달려 있습니다.

1. 노무 관리
2. 업무 관리
3. 운영 최소화
4. 모델링 및 시뮬레이션
5. 소스로부터의 피드백

1800년대 후반 및 1900년대 초반 제조 분야에서 산업화를 추진한 기관은 미국 기계 학회(ASME)였습니다. 그러나 현재는 건축 산업에서 이 역할을 담당하는 단체가 없습니다.

제조 산업에서 이룩한 생산성 향상의 좋은 지표는 상대적인 자동차 가격이 되겠습니다. 1910년에 자동차 한 대의 값은 국민 평균 소득의 140%였으나 2012년에는 33%로 감소했습니다. 반면, 평균 거주 비용은 동일 기간 국민 평균 소득의 333%에서 619%로 증가했습니다.

NIST를 대신하여 국립 학술원의 National Research Council에서 수행한 한 역사적인 연구<sup>1</sup>에 의하면 건축 산업이 직면한 문제 및 장애물은 다음과 같습니다.

### 산업의 분화

“건축 회사의 개수(2004년 기준 760,000개) 및 규모(근로자가 100명 이상인 건축 회사는 전체의 2%, 근로자가 10명 이하인 건축 회사는 전체의 80%)가 소유주, 계약업체 및 하도급 업체 전반에 걸쳐 신기술, 모범 사례 또는 기타 혁신을 효율적으로 전달하기 어렵게 합니다. 또한, 이 산업은 주택, 상업, 산업 및 대규모 건축과 같이 최소 4개의 개별 섹터로 분류됩니다.”<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (National Research Council. *Advancing the Competitiveness and Efficiency of the U.S. Construction Industry*. Washington, DC: The National Academies Press, 2009.)

<sup>2</sup> 일부 전문가들은 프로젝트의 유형이나 특성을 근거로 운송 관련 프로젝트를 5번째 건축 분야로 취급하기도 합니다(Hinze, 2001).

## 상호 연결성 및 상호 운용성

- 다양하게 세분화된 이해 관계자 집단: 소유주, 사용자, 설계자, 건축업체, 공급업체, 제조업체, 운영업체, 규제 기관, 노동자 및 배관 기술자, 전기 기술자, 석공, 목수, 지붕 수리업자를 포함한 전문 건설업체.
- 세분화된 프로세스: 계획 및 금융, 설계, 엔지니어링, 구매, 건축, 운영 및 유지 보수. 프로세스마다 다양한 이해 집단이 있으며 이들이 부담하는 재정 위험 수준도 다양함.
- 산업 이미지- 반복적이고, 기술 수준이 낮고, 물리적으로 힘들며 위험한 작업이라는 인식으로 인하여 숙련된 작업자를 유인하기 어려움.
- 건축 프로젝트 대부분이 유일무이하며 건축 현장 상황에 맞춰야 하는 특성이 있음.
- 건축 프로젝트 유형마다 필요한 표준, 프로세스, 재료, 역량 및 기술이 상이함.
- 주나 지역에 따라 건물 규정, 건축 허가법 및 건축 관련 규정이 다름.
- 건축 효율성을 향상하기 위한 산업 전략 부재.
- 건축 관련 작업, 프로젝트 또는 산업 전반에 걸쳐 건축 성과를 효율적으로 측정할 수 있는 방법 부족.
- 산업 전반에 걸친 연구 안건 및 연구 지원금 부족.

동일한 연구에서 다음 5가지 영역에서 생산성을 향상하기 위한 솔루션 역시 제시합니다.

1. 상호 운용 가능한 기술 애플리케이션의 광범위한 배포 및 사용.
2. 인력, 프로세스, 재료, 장비 및 정보의 더욱 효과적인 인터페이스를 통해 향상된 작업 현장 효율성.
3. 사전 조립, 모듈화 및 현장 외 조립 기술과 프로세스를 보다 적극적으로 활용.
4. 혁신적이고 광범위한 데모 설치 사용.
5. 향상된 실적 측정을 통해 효율성 구현 및 혁신 지원.

이러한 사항은 제조 산업이 산업화 과정의 초기에 직면한 과제와 거의 일치합니다.

1700년대 중반에 시작된 산업 혁명(그림 2)은 인류 역사상 최초로 생산 수준이 작업자의 자체 소비 수준을 초과함으로써 인구가 증가하는 원인이 되었습니다. 기존 맬더스 경제

이론에서 인구 증가가 부정적인 관점으로 다뤄졌다면 애덤 스미스의 경제 이론에서는 반대로 인구 증가는 자산으로 여겨지게 되었습니다.

인구 증가는 새로운 시장과 고객 창출로 이어집니다. 제조 시설의 생산성이 향상되어야 했습니다. Henry Towne 은 “경제 전문가인 엔지니어” 개념을 소개했으며 Fredrick Taylor 의 “과학적 관리 원칙”(그림 3)에 의해 노동 관리 방법의 발전으로 이어졌습니다. Frank 및 Lillian Gilbreth 의 효율성, 인적 요소 및 측정과 Henry Ford 의 기계 효율성(그림 4), Dr. Shewhart 및 Deming(그림 5)의 통계학적 프로세스 관리와 마지막으로 Toyota Taichii Ohno(그림 6)의

노동 효율성 적용과 같이 생산성 향상 전문가들의 계속된 연구를 통해 제조 생산성이 4~5 배 향상되었습니다.

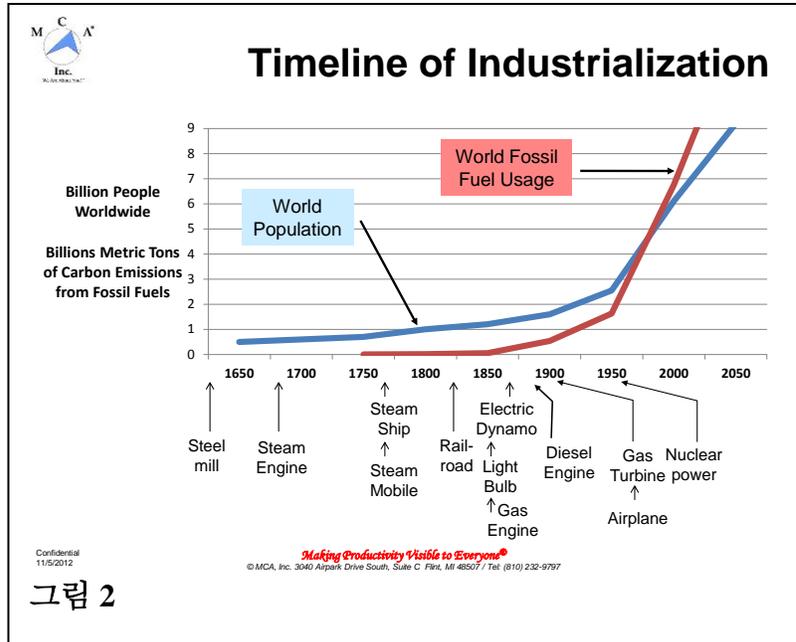


그림 2

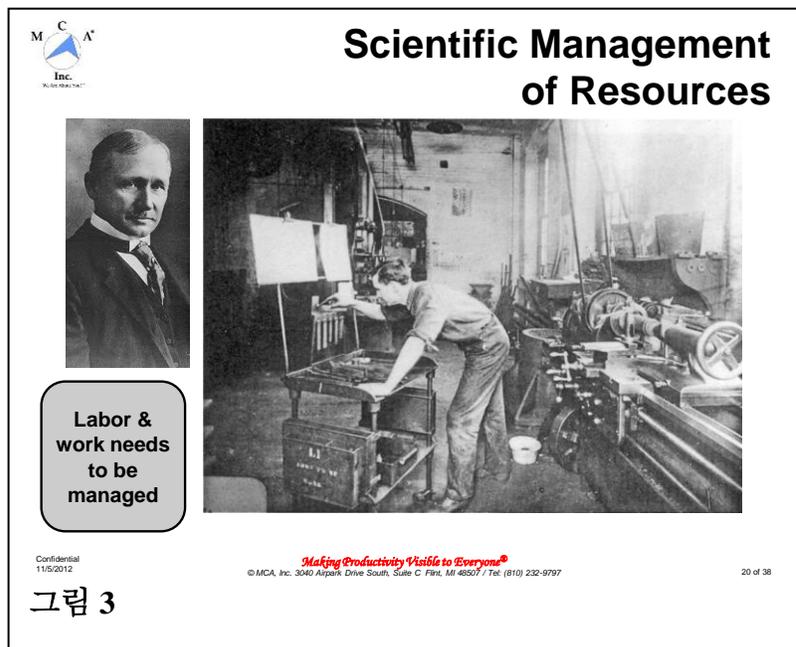
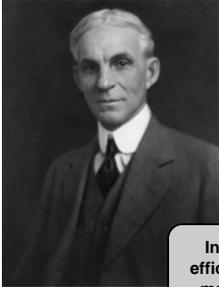
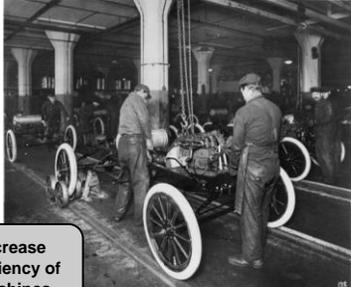


그림 3

MCA Inc. logo

## Segregation of Work

**Increase efficiency of machines**

Confidential 11/5/2012  
© MCA, Inc. 3040 Airpark Drive South, Suite C, Flint, MI 48507 / Tel: (810) 232-9797 22 of 38

### 그림 4

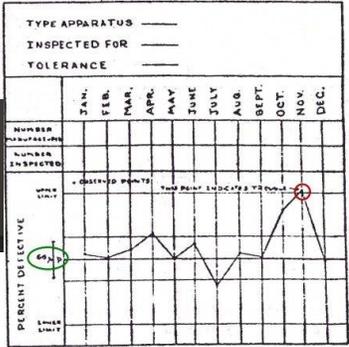
MCA Inc. logo

## Statistical Process Control




**Track the machine efficiency for improvement**

TYPE APPARATUS _____		JAN.	FEB.	MAR.	APR.	MAY	JUNE	JULY	AUG.	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.
NUMBER INSPECTED													
PERCENT DEFECTIVE													



Confidential 11/5/2012  
© MCA, Inc. 3040 Airpark Drive South, Suite C, Flint, MI 48507 / Tel: (810) 232-9797 24 of 38

### 그림 5

MCA Inc. logo

## Lean Manufacturing




**Improve effectiveness of the labor**



Corona Mark II assembly line - Toyota photo - 1988

Confidential 11/5/2012  
© MCA, Inc. 3040 Airpark Drive South, Suite C, Flint, MI 48507 / Tel: (810) 232-9797 26 of 38

### 그림 6

오늘날의 건축 환경에서 소요 비용 1 달러당 고객에게 전달되는 가치는 약 46 센트로 측정됩니다. 작업 현장에서 작업자 시간의 40% 이상은 재료 취급에 소모되고 있습니다. 반면 대부분의 현장 작업은 고도의 숙련된 작업자의 고용을 통해 수행됩니다. 제조 및 기타 산업과 비교 가능한 성공적 결과를 얻기 위해 건축 산업도 다음과 같은 동일한 절차를 수행해야 합니다.

1. 업무 구분
2. Externalizing Work®
3. 통계학적 프로세스 관리(SPC) 적용
4. 노동 효율성 향상을 위한 린 프로세스 설계 적용
5. 3D 모델링과 시뮬레이션 및 피드백 적용

## 1. 업무 구분

제조 산업화와 관련하여 Fredrick Taylor 의 가장 중요한 기여는 오랜 시간 동안 숙련된 직원과 숙련되지 않은 직원의 업무를 관찰하고 수행한 업무를 분석한 것입니다. 업무를 분석하고 나면 더욱 적절하게 시간, 장소 및 관련 리소스를 관리할 수 있습니다. 업무가 가시적으로 되고 이해할 수 있게 되면서 최적의 방법으로 업무 설계가 가능해지고 가용한 자원 간에 구분이 가능해집니다. 오늘날의 건축, 엔지니어링 및 건설(AEC) 환경에 이러한 업무 구분을 적용하자면 숙련된 자원의 관점에서 업무 분석 구조를 사용하는 것입니다. 숙련된 작업자는 요구되는 설치 순서에 따라 업무를 구분해야 합니다. 이러한 설치 패키지는 숙련되지 않은 직원이 생산하고 조립할 업무 패키지를 생성할 수 있게 합니다.

## 2. Externalizing Work<sup>®</sup>

산업화에 대한 Henry Ford 의 기여는 Fredrick Taylor 에 의해 개발된 접근 방법을 사용하여 최종 자동차 조립 라인과 별도로 작업 가능한 업무 패키지를 창출했다는 점입니다. 건축 분야에서 Externalizing Work<sup>®</sup> 는 사전 조립 프로세스 및 기술을 사용하여 수행된 업무와 사용 노동력의 신뢰성, 예측 가능성 및 생산성을 향상하는 것이었습니다. 최근의 예로, 중국은 이 방법을 사용하여 6 일 이내에 15 층 건물을 건설하였습니다. 기존 방법으로는 9~12 개월이 걸리던 작업입니다. 작업 현장에서 사고가 전혀 발생하지 않았으며 건물은 리히터 척도로 9.5 강도 지진에 대한 내구성 인증까지 받았습니다.

## 3. 통계학적 프로세스 관리(SPC) 적용

SPC 적용은 JPAC<sup>®</sup> (작업 생산성 보증 및 관리)에 기반을 두어 개발된 ASTM 표준 E2691(작업 생산성 측정 -JPM)을 통해 모든 사람이 잘못되었음을 입증할 때까지 AEC 산업에서는 불가능한 것으로 알려졌었습니다. SPC 의 주요 목적은 초기에 프로젝트 결과를 예측하고 현재 진행률 측정 및 수정으로 예상되는 실제 결과물과의 차이를 예측하고 측정하는 것이었습니다. Agile Construction<sup>®</sup> 방법론의 일부로써, JPAC<sup>®</sup> 는 진행 중인 생산 데이터 사용 시 Shewhart 및 Deming 의 접근 방법에 기반을 두어 개발된 지식을 사용하여 최초 예상 결과와 실제 작업 종료 시 결과 간의 차이를 예측합니다. SPC 를 사용하면 JPM/JPAC<sup>®</sup> 는 일반적인 또는 특수한 결과의 차이 유발 원인 발생 시 이에 대해

초기 경고 신호를 발령할 수 있습니다. 업무 구분 및 externalization of work 를 사용하면 이 도구를 통해 최종 건축물 조립 현장과 생산 현장 모두에서의 노동력 효율성을 향상할 수 있습니다.

#### 4. 노동 효율성 향상을 위한 린 프로세스 설계 적용

린 제조 프로세스 설계와 관련한 Toyota 의 접근법은 제조 산업의 낭비 감소 및 최종 고객을 위한 가치를 생산하지 않는 활동의 제거에 중점을 두어 생산 비용을 절감하는 데 도움을 주었습니다. 건축 분야에서 린 프로세스를 적용하려면 위에서 설명한 세 가지 단계를 사용해야 합니다. 낭비를 줄이기 위해서는 업무를 구분하고, externalize 하고 추적이 가능해야 합니다.

#### 5. 3D 모델링과 시뮬레이션 및 피드백 적용

설계, 개발, 프로토타입, 제조 및 제품 수명 내구성 비용을 줄이기 위한 산업 혁명의 다음 단계는 필요한 정보를 전자 모델링 형식으로 관리하는 것입니다. 모든 제품 개발 및 수명 관리의 모델링 및 시뮬레이션은 물리적 모델링으로부터 발전된 것입니다. 모델링은 최종 제품 및 사용에 대한 물리적 이해와 설계의 개선으로 이어집니다. 모델링의 정확성은 실제 피드백 프로세스에 의해서만 개선될 수 있습니다. 제조 분야의 피드백 메커니즘은 일반적으로 센서, 서보 및 싱크로인 반면에 건축 분야는 최종 조립이 수작업으로 이루어지는 속성 때문에 피드백이 최종 설치 업체에서 제공됩니다. Agile Construction® 프로세스의 일부인 Short Interval Scheduling(SIS®)은 피드백 센서, 서보 또는 싱크로의 역할을 수행합니다. 다쏘시스템이 개발한 “Lean Construction Solution Experience”는 모델, 시뮬레이션 및 수명 주기 관리 플랫폼이며 이를 통해 최종 설치 업체의 피드백과 업무 환경 내에서의 모델 정보를 얻을 수 있습니다.

건축 산업이 제조 분야에서의 생산성 증대를 따라가려면 업무를 연구하고, 구분하고, externalize 하고 commoditize 해야 합니다. 비용을 줄이고 생산성을 증대시키려면 숙련도가 떨어지거나 숙련되지 않은 작업자가 관련 산업에서 할 수 있는 업무가 있어야 합니다. 건축 비용을 줄이기 위해 낮은 컴포지트 비율을 효율적으로 사용하려면, 사전 조립 또는 공급업체에 의한 재고 관리와 같은 재료 관리 서비스 업무에서 숙련도가 낮은

작업자를 고용하고 활용해야 합니다. 낮은 수준의 숙련도를 관리하려면 건축 업무를 관리 가능한 단위로 분류하고 업무 유형을 구분해야 합니다. 숙련도가 낮은 노동력을 업무에 활용하려면 업무를 현대화하고 가장 일반적인 조업도에 적용해야 합니다.

다쏘시스템은 건축 산업에서 직면한 이러한 문제점 중 일부를 해결하고 설계, 엔지니어링 및 제조 분야에서 학습한 교훈을 건축, 엔지니어링 및 건설 산업에 적용하기 위해 MCA Inc.와 협력하기로 하였습니다. 3D Experience 플랫폼은 다음 기능을 통해 이러한 중요 업무를 지원합니다.

- 제품 모델링(BIM-CATIA®, SOLIDWORKS®)
- 프로세스 모델링 및 피드백(JPAC®, SIS®, EAE®, CPAC® DELMIA®, SIMULIA®, CATIA®)
- 정보 및 사회적 네트워크/상호 작용 모델링(ENOVIA®)

건축 산업의 산업화를 위한 초기 효과는 다음과 같은 예를 통해 이미 입증되었습니다.

1. 중국에서 6일 이내에 15층 건물 건설
2. Skanska의 Enovia 사용
3. 중국에서 90일 이내에 세계 최고층 건물 건설
4. Skanska에 의해 Dayton, OH의 완전 모듈식 병원 건설

## 결론

거주 공간의 수요와 인류 생활의 향상으로 인해 건축 산업은 적은 리소스로 더욱 많은 생산을 강요받고 있습니다. 전 세계 다양한 지역에서 발생하는 업무 인력 가용성의 불균형 때문에 전 세계적으로 건물 건축에서 모듈화 및 사전 조립이 필수적입니다. 제조 및 기타 산업으로부터 배운 교훈은 동일한 이벤트 순서를 겪을 필요 없이 건축 산업의 산업화를 가속하는 데 도움을 줍니다. 건물 모델링 및 시뮬레이션, 피드백 프로세스 적용과 사회적 네트워크 환경을 통해 확보한 제품으로 인해 이전에 겪어보지 못했던 3D 경험을 구현합니다. 이제 다음은 어떻게 될지에 대한 질문이 생깁니다. 모든 노동 및 숙련 기술 집약적 산업은 이러한 변화를 통해 보다 좋은, 저렴한 그리고 고품질의 서비스를 인류에게 제공함으로써 더욱 나은 사회 구현을 지원할 것입니다. 자연스럽게 다음 단계는 보건 분야로 이어질 것입니다.