

주택건설현장 폐콘크리트 발생 저감
식스시그마 프로젝트 추진 사례
Case Study in a Six Sigma Project for Decreasing Waste Concrete
in a Housing Construction Site

권혁무*

부경대학교 산업공학과

김정택

부경대학교 산업공학과

최준호

LG건설(주) 부산 LG메트로시티 현장

요약문

본 사례는 국내 APT 건설 현장에서 수행된 식스시그마 프로젝트에 대한 것으로 폐콘크리트 발생 저감 및 잔량발생에 영향을 미치는 주요 인자들을 파악하고 개선안을 도출하는 과정을 보였다. 프로젝트는 식스시그마의 방법론을 따라 정의, 측정, 분석, 개선, 관리의 절차에 따라 주요 변수를 규명하고 개선안을 찾아내는 식으로 진행되었다. 분석결과 폐콘크리트 발생을 줄이기 위해서는 첫째, 거푸집 시공 및 타설 프로세스를 개선하고 둘째, 압송관 및 펌프카 내 잔여 레미콘을 최소한으로 감소시키며 셋째, 최종적으로 남은 레미콘을 재활용할 수 있도록 하는 세가지로 요약되었다.

1. 서론

식스시그마 전략은 제조공정뿐만 아니라 기업의 모든 부문과 활동에서 결함이 발생할 수 있는 구조 및 시스템을 개혁하고 결함 발생 원인을 근본적으로 제거하는 경영 혁신 전략이다. 즉, 1백만번의 결함발생 기회 당 3.4개 이하의 결함만을 허용하는 6시그마 품질수준의 달성을 목표로 통계적인 기법을 사용하여 가장 효율적인 프로세스를 창출하는 것이다. 이는 궁극적으로 저품질로 인한 업무 손실 비용을 획기적으로 절감하고 고객에게 급격하게 향상된 제품과 서비스를 지속적으로 제공할 수 있는 기업문화를 창출함으로써 국제경쟁력을 갖춘 세계적인 초우량기업이 되고자 하는 것이다. 식스시그마 전략은 Motorola, General Electric, IBM, Texas Instruments, Allied Signal, Lockheed Martin과 Sony 등 세계적인 선진기업들에 도입되어 혁신적이고 효과적인 개선도구임이 입증되었다 ([10], [12], [14]).

최근 LG그룹전체의 식스시그마 전략 도입 방침에 따라 LG건설에서도 식스시그마 전략의 도입을 검토하게 되었다. LG건설에서는 이미 기존의 혁신활동인 EX-Const(Excellent Construction)을 전개하고 있었는데 이는 최적화 건설, 시공에 적절한 전문설계, 지원 업무에서의 각종 개선, 아이디어 도출 등 현장 중심의 기술력 향상과 합리적인 관리 방식 구축을 통해 초우량 건설회사로서의 경쟁력을 확보하기 위한 활동이다. 따라서, LG건설에서의 식스시그마 전략 도입의 성패는 기존의 EX-Const 활

동과 식스시그마의 과학적이고 체계적인 접근방법을 건설업의 특성에 맞게 접목시키는 것에 달려 있다고 하겠다.

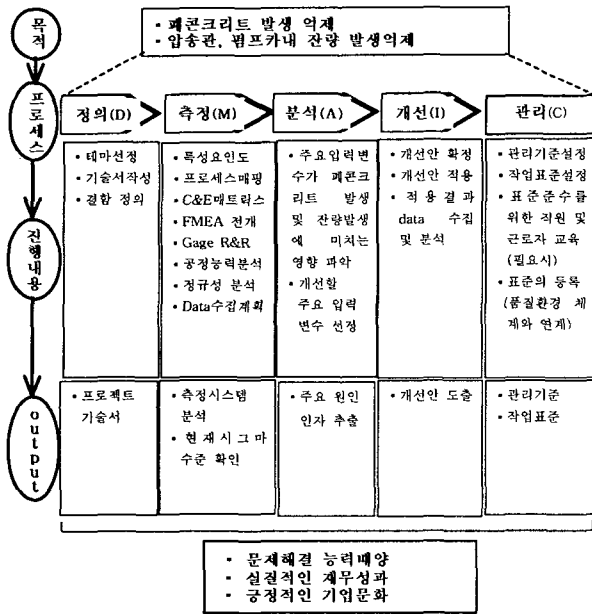
본 사례에서 소개하는 부산 LG메트로시티 현장의 프로젝트는 LG건설 식스시그마 도입과정에서 시험적으로 수행된 프로젝트 중의 하나로서 재무적 성과의 크기보다 우리나라에서 최초로 수행된 건설 현장 식스시그마 프로젝트라는데 의미가 있다. 프로젝트의 내용은 우리나라 APT 건설 현장에서 발생하는 폐콘크리트 발생을 감소시키는 것을 주제로 진행되었다. 폐콘크리트 발생은 불필요한 원자재 투입으로 인해 그 자체가 원가 상승 요인일 뿐만 아니라, 폐기물 처리비용을 수반하며, 또한 환경문 제까지 유발시키게 되므로, 건설현장에서는 중요하 면서도 고질적인 문제로 인식되고 있다. 본 사례에서는 식스시그마 방법론에 따라 이 문제의 개선안을 도출하는 과정을 소개한다.

2. 프로젝트 목적과 추진절차

건설현장에서의 콘크리트 타설시 발생하는 폐 콘크리트는 불필요한 원자재의 투입과 그에 따른 인력의 낭비뿐만 아니라 폐기물 처리비용의 추가 발생과 환경 오염을 유발하는 원인이 된다. LG 메트로시티 현장에서 수행된 본 프로젝트의 목적은 철근콘크리트 공사시 거푸집시공 및 콘크리트 타설 불량으로 인한 폐콘크리트 발생량 감소와 고층 콘크리트 타설시 발생하는 압송관 및 펌프카, 시멘트

트럭 내에 발생하는 잔여 레미콘을 재활용함으로써 전술한 문제를 해결하는 데 있다. 이와 같은 목적 달성을 위해 LG 메트로시티 현장에서는 식스시그마 접근 방법을 도입하여 프로젝트를 수행하였다.

식스시그마 경영 혁신 전략은 잘 설계된 접근 방식을 통하여 문제가 되는 프로세스를 개선함으로써 궁극적으로 6시그마 수준의 품질목표를 달성하고자 하는 것이다. 일반적으로 식스시그마 프로젝트 진행 절차는 측정(M), 분석(A), 개선(I), 관리(C) 사이클을 따른다. 그러나 프로젝트 진행 절차가 이와 같이 항상 일정하게 진행되는 것은 아니며, 측정 전에 주요 고객을 정의하고 고객의 요구사항을 파악하는 정의(D) 단계를 추가하여 사용하는 등 기업이나 사업 특성에 맞게 변환하여 사용하기도 한다. 본 사례에서는 전체적인 프로젝트 진행 절차를 식스시그마 접근방법인 DMAIC를 따르되 세부 진행 내용은 건설현장의 특성을 고려하여 결정하였다. [그림 1]은 본 프로젝트 추진 절차 및 내용을 개략적으로 도시하고 있다.



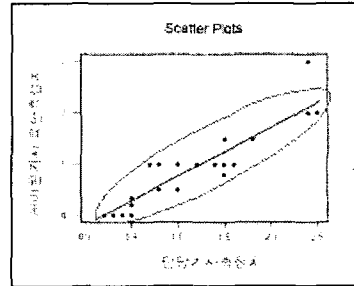
[그림 1] 메트로시티 6시그마 프로젝트 추진도

3. 프로젝트의 단계별 추진 내용

3.1 결함의 정의 및 현재 수준 파악

페콘크리트는 층별 단위로 수집하여 4명의 측정자가 각각 3회씩 페콘크리트가 담긴 자루중 1개를 랜덤하게 선택하고, 무게를 측정해서 면적당 페콘크리트 발생량을 계산하였다. 체중계를 측정도로 사용하였으며, 측정단위는 kg/m²이다. 또한 건축산업은 측정 단위가 크기 때문에 계측기의 미세한 오차가 데이터에 큰 영향을 미치지 않을 것이나 데이터의 신뢰성 확보를 위한 근거 자료를 확보하기 위하여 Gage R&R을 실시하였다. 그 결과, 예상대로 계측기의 재현성과 반복성 모두 만족스럽게 나타났다.

레미콘 잔량 측정을 위하여 콘크리트를 역류시킬 경우, 측정이 끝난 콘크리트는 재활용이 불가능하게 된다. 따라서 레미콘 잔량 측정은 레미콘 기사 육안 측정치로 대신하였다. 육안 측정치의 신뢰성을 검토하기 위해 실제 잔량과의 상관 관계를 분석한 결과 상관 계수 $r = 0.918$ 로서 육안 측정치를 사용해도 큰 무리는 없는 것으로 나타났다([그림 2]).



[그림 2] 상관 분석 결과

페콘크리트 발생량에 대한 규격치로서 과거 경험을 고려하여 평당 5kg을 초과하는 것을 결함으로 보았다. 데이터를 수집하여 현재 시그마 수준을 계산한 결과 [표 1]과 같다.

[표 1] 시그마 수준

구분	현재 수준	목표 수준
DPMO	207,601	66,800
시그마 수준	2.31	3.00

3.2 주요 원인 인자의 도출

특성요인도와 프로세스 맵을 사용하여 철근콘크리트공사의 세부공정을 분석하고 공정별 주요 입력변수 및 출력변수를 확인하였다. 프로세스 맵 과정에서 잔여레미콘이 페콘크리트 발생에 가장 큰 영향을 미치고 있다고 판단되어, 페콘크리트 및 잔량발생에 관하여 C&E 매트릭스 및 FMEA를 각각 실시하여 주요 원인 인자를 도출하였다. [표 2]는 페콘크리트 및 레미콘 잔량 발생의 주요 원인 인자(KPIV)들이다.

[표 2] 주요 원인 인자의 도출

	KPIV
페콘크리트 발생	① 거푸집 긴결상태 불량 ② 수직도 불량 ③ 콘크리트 타설시 바닥레벨불량 ④ 수평목과 바닥틀 부위를 밀설하게 처리하지 못함 ⑤ 틈새 나온 몰탈을 수거하여 슬라브에 타설하지 못함 ⑥ 양생전 틈새 몰탈을 풀로 씻지 못함 ⑦ 타설 완료시각이 늦어 마감몰량 일시청구 ⑧ 타설 공법에 의한 압송관내 잔량
잔량	① 재활용 지정장소가 없다. ② 재활용 거푸집이 준비되지 않았다. ③ 타설 완료시각이 늦어 마감몰량 일시청구

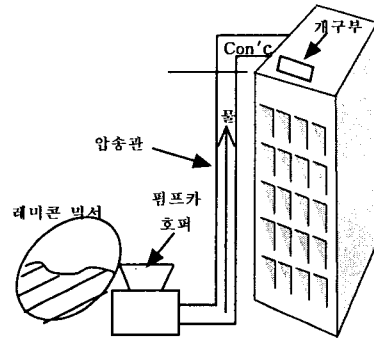
그리고 개선안을 도출하기 위하여 페콘크리트 발생에 대한 주요 원인 인자들을 발생 시점을 기준으로

콘크리트 양생전·후로 분류하였다.

[표 3] 폐콘크리트 발생 주요 원인 인자의 시점별 분류

대상	발생 요인	기준시점	발생빈도(%)	비고
폐콘크리트	·이음 부위 몰탈	양생 전	약 90% (주관리대상)	이음 부위 몰탈에 의한 폐콘크리트 발생량 측정이 어려움 (액체)
	·압송관내 잔량			
	·수직도 불량	양생 후	약 10%	발생요인별 폐콘크리트 발생량의 측정이 용이
	·개구부 size 불량			
	·폼 불량			
	·체질 혼합물 불량			
	·기타			

크리트 양을 계산하여 물차의 압력으로 필요한 콘크리트 양을 압송하는 방법이다. [그림 3]은 개량공법에 의한 콘크리트 타설 개략도를 나타낸다.



[그림 3] 개량공법에 의한 Con'c 타설 개략도

잔량감소 방안으로서 재활용은 과거에 효율적으로 이루어 예가 없어 큰 효과가 없는 것으로 판단되었다. 따라서 개선책으로는 재활용보다 잔량 발생을 억제하는 쪽으로 방향을 잡았다. [표 4]는 잔량 발생의 주요 원인 인자들을 보여주고 있다.

[표 4] 잔량 발생 주요 원인 인자

KPIV	
잔량 발생	① 타설 후 압송관내 잔량이 남는다. ② 타설 후 레미콘 믹서 내 잔량이 남는다. ③ 타설 후 펌프카 호퍼내에 잔량이 남는다.

3.3 개선안 도출 및 효과 확인

건설업의 특성상 주요 원인 인자들의 최적 조건을 도출하기 위한 실험계획법의 현장 적용에는 다음과 같은 몇 가지 문제점이 있었다.

- 1) 실험결과의 확인에 장기간 소요된다.
- 2) 관리가 곤란한 변수가 많아 실험결과의 신뢰도가 낮다.
- 3) 실험 비용이 상대적으로 크다.

이와 같은 이유로 실험계획법은 실시하지 않고, 현상 그대로의 데이터를 수집·분석하여 폐콘크리트 발생의 90%를 차지하는 양생 전 발생요인에 대한 개선방안을 도출하였다. 양생 후 요인들은 발생빈도가 낮으므로 개선비용 및 개선 효과를 고려하여 차후 개선 여부를 결정하도록 하였다. [표 5]는 폐콘크리트 및 잔량 발생의 주요 원인 인자들에 대한 개선안을 나타낸다.

[표 5] 폐콘크리트 및 잔량 발생에 대한 개선안

목적	발생 요인	개선안
폐콘크리트 발생 저감	·이음 부위 몰탈	폼을 사용 했어 내림
	·압송관내 잔량	
잔량발생억제	·압송관내 잔량	물차량 이용한 개량공법 적용
	·레미콘믹서 내 잔량	
	·펌프카 호퍼 내 잔량	

개량 공법은 마지막 개구부 타설에 필요한 콘

압송관 내부는 시각적으로 확인 불가능하고 물에 의하여 압송되는 콘크리트 양을 체크할 수 있는 적절한 도구가 없기 때문에 마지막 개구부 타설 또한 다른 부위처럼 기술자의 판단에 의존할 수밖에 없다. 또한 물로서 콘크리트를 압송하는 공법이라는 제약과 기술자의 실수에 의한 부실 공사의 위험 그리고 개구부의 크기불량 등을 고려하여 어느 정도의 여유를 두고 콘크리트를 압송하도록 하였다.

레미콘믹서 내 잔량은 층당 면적에 따른 레미콘 차량 대수의 평균을 산출하여 적용함과 동시에, 일몰전과 후로 타설 완료 시간을 비교·분석한 결과 일몰전에 타설을 완료할 경우 잔량이 남지 않았다.

펌프카 호퍼 내 잔량은 펌프카 종류에 따라 차이는 있으나 메트로시티에서 사용한 펌프카 호퍼의 양은 약 0.5(m³)으로 이 또한 마지막 개구부 타설에 사용하거나 미리 재활용 장소 또는 거푸집을 확보하는 개선방안을 적용하여 제거하였다.

[표 6]은 개량 공법에 의한 확인 시험 결과이다. 3개층에 대한 시험 결과 압송관내 잔량은 평균 0.05m³/층으로서 거의 남지 않았다.

[표 6] 개량공법에 의한 확인 결과

동별	층별	타설 완료시각	차량잔량 (m³)	압송관내 잔량 (m³)	호퍼내 잔량 (m³)
2	10	일몰후	2.00	0.05	0.5
6	10	일몰후	0.00	0.05	0.5
7	12	일몰후	3.00	0.05	0.5

개량공법의 적용시 폐콘크리트 발생량을 조사한 결과 3.5(kg/m²)로서 목표인 3시그마 수준을 달성하였다. 그러나 재무성과 측면에서는 건설업의 특성상 자재비, 폐기물 처리비 그리고 인건비 등이 표준화되어 있지 않고 지역, 업체 그리고 현장에 따라 계약조건이 상이하여 객관적인 평가가 어려웠고, 이 부분에 대해서는 회사 차원의 객관적인 평가기준 마련이 필요할 것으로 보인다.

3.4 관리 기준 및 작업 표준 설정

LG 메트로시티 APT 현장에서는 현재 진행 중인 관리단계에서 개량공법을 지속적으로 적용하여 압송관 높이에 비례하여 일정하지 않았던 압송관 내 레미콘 잔량 발생을 $0.05 \pm 0.05(m^3)$ 수준으로 유지하기 위해 새로운 관리기준을 설정하고, 개량공법에 대한 지침서 개발 및 교육을 통하여 전사적으로 표준화할 계획이다. 그리고 일물전에 타설 작업을 완료하여 레미콘믹서 내 잔량 발생을 제거하는 동시에 타 작업과 연계하여 펌프카 호퍼 내 잔량을 재활용할 수 있도록 하기 위하여 체계적인 일정계획 및 공정계획 시스템 구축을 계획하고 있다.

건설산업은 특성상 데이터 획득에 많은 비용과 시간 그리고 인력이 소요된다. 그러나 식스시그마 전략은 현장의 실제 데이터를 바탕으로 하기 때문에 지속적이고 체계적인 데이터 관리가 요구된다. 이에 따라 LG 메트로시티 APT 현장에서는 지속적인 식스시그마 전략 추진과 목표치의 유지·개선 방안으로 체계적인 데이터 관리 시스템 구축을 준비하고 있다.

4. 결론

본 사례에서는 부산 LG 메트로시티 APT 현장에서 수행된 식스시그마 프로젝트를 소개하였다. 주제는 페콘크리트 발생량을 감소시키는 것으로서, 식스시그마의 프로젝트 진행 방법에 따라 원인인자를 식별하고 개선해 가는 과정을 보였다.

페콘크리트 발생의 90%는 레미콘 잔량 발생에 기인하고 있어, 이에 대한 개선을 일차적으로 실시하였다. 프로젝트 수행 결과 도출된 개량공법의 적용으로 기존의 압송관내 레미콘 잔량 발생량을 $0.05(m^3)$ 정도로 감소시켜 페콘크리트 발생량을 현저히 감소시켰다. 레미콘믹서 내 잔량은 일물전에 타설을 완료하고, 펌프카 호퍼 내 잔량은 재활용 장소 및 거푸집을 지정하거나 마지막 개구부 타설에 사용하여 제거하였다.

이에 따라 페콘크리트 발생은 초기 2.31시그마 수준($4.01kg/m^2$)에서 목표치인 3시그마 수준($3.5kg/m^2$)으로 향상되었다. 개량 공법의 적용은 폐기물처리비용 및 인건비 등의 비용감소 뿐만 아니라 환경친화적 기업으로서의 이미지 창출의 기회 또한 제공하였다.

LG 메트로시티 APT 현장 프로젝트는 우리나라에서 최초로 수행된 건설현장 식스시그마 프로젝트라는데 의미가 있다. 기존의 제조업 중심으로 진행되어왔던 식스시그마 프로젝트 추진 사례에 비추어 볼 때 LG 메트로시티 APT 현장 식스시그마 프로젝트는 선례로서 우리나라 건설업 식스시그마 프로젝트 도입 및 추진에 유용한 벤치마킹 대상이 될 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] 권혁무, 김상부, 홍성훈, 이민구, "경영성과 척도로서의 시그마 수준과 문제점," 대한산업공학회 추계학술 대회논문집, pp. 906-912(1998).
 [2] 김상부, 홍성훈, 권혁무, 이민구, "우리 나라 기업의 6시그마적용을 위한 방안," 대한산업공

학회 추계학술대회논문집, pp. 900-905(1998).
 [3] 김상부, 권혁무, 홍성훈, 이민구, "Six Sigma 전략," 품질경영, No. 10, pp. 85-89(1998).
 [4] 김상부, 권혁무, 홍성훈, 이민구, "Six Sigma 전략," 품질경영, No. 11, pp. 95-99(1998).
 [5] 석안식, "6시그마 운동의 성공 요인:GE 사례," 대한산업공학회 추계학술대회논문집, pp. 893-899(1998).
 [6] 김학수, "삼성전관의 6시그마 추진 사례," 품질경영학회지, Vol. 27, No. 1, pp. 211-222(1999).
 [7] 홍성훈, 김상부, 권혁무, 이민구, "6시그마 경영 혁신전략," 품질경영, Vol. 27, No. 1, pp. 223-231(1999).
 [8] 홍성훈, 김상부, 권혁무, 이민구, "식스 시그마 성공사례," 품질경영, Vol. 27, No. 3, pp. 202-208(1999).
 [9] <http://www.sixsigmaqualtec.com>, Qualtec (1999).
 [10] <http://www.aircad.com/transact.htm>, Air Academy. Inc(1999).
 [11] <http://www.lgenc.co.kr>, LG E&C(2000).
 [12] Mischynski, D. J., "Motorola's Quality Improvement Strategy," The 3rd International Conference on Total Quality Management, pp. 204-229.
 [13] Harry, M. J., The Vision of Six Sigma : A Roadmap for Breakthrough, 4th ed., Sigma Publishing Co(1994).
 [14] Horel, R. W., "Six Sigma and the Future of the Quality Profession," quality Progress, Vol. 31, No. 6, pp. 35-42(1998).
 [15] Harry, M. J., "Six Sigma : A Breakthrough Strategy for Profitability," Quality Progress, Vol. 31, No. 5, pp. 60-64(1998).
 [16] Scobbo, J. J. Jr., "Designing Engineering Resins for Six Sigma Performance," Proceedings of the 56th Annual Technical conference, ANTEC, Vol. 3, pp. 2991-2995(1998).
 [17] Bounds. G. M., "Cases in Quality," IRWIN(1996).
 [18] Taylor. W. A., Optimization and Variation Reduction in Quality, Mc Graw-Hill, Inc(1992).
 [19] "Measurement systems Analysis," Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation(1995).