

현장 사례를 통한 PSM 공법의 생산성 향상 방안에 관한 연구

A Study on Productivity Improvement Scheme Through Site Case Study In PSM

이태식*, 이원용**, 김길홍***

Lee, Tai Sik · Lee, Won Yong · Kim, Gil Hong

요 약

본 연구는 경부고속철도 공사에 처음으로 적용한 PSM 공법의 현장사례 분석을 통하여 생산성 향상 방안을 모색하였다. 본 사례현장의 경우 생산성에 영향을 많이 미치는 요인으로는 기능공의 숙련도 미숙, 장비운영관리 미흡 동절기 콘크리트 양생 조건 등을 발견하였다. 따라서 생산성을 향상시키는 방안으로 기능공들의 숙련도 증진, 생산성 향상을 위한 인센티브제도의 도입, 관계자간의 긴밀한 협조, 조직적인 팀웍, 생산적인 작업 여건 조성 등을 제시하였다. 이외에도 생산성 향상을 위한 방안으로는 수행한 작업에 대한 철저한 피드백으로 작업방법의 지속적인 개선, 현장여건에 맞는 지속적인 교육훈련 등이 필요하다. 이러한 생산성 향상 방안을 활용하여 향후 적용될 공사에 있어 PSM공법의 장점을 최대한 살려, 성공적인 공사 수행을 도모하고자 한다.

키워드: PSM 공법, 생산성, 싸이클타임, 인센티브

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

현대의 공사는 그 규모가 대형화, 복잡화되면서 초기 계획과는 달리 착공 이후 프로젝트에 내재해 있던 리스크들이 나타나기 마련이다. 본 고속철도 현장에서도, 당초에는 FSM(Full Staging Method), MSS(Movable Scaffolding System)공법으로 교량 상판을 제작하기로 하였었지만 초기 계획 시 예측하지 못했던 문제의 발생으로 인하여 PSM 공법으로 공법이 변경되었다. PSM 공법은 기계설비를 갖춘 실내 공장에서 상부 구조를 제작하기 때문에 항상 균일한 품질의 고강도 상부 구조를 만들 수 있어 기존의 MSS 공법보다 비용 절감이나 공기 단축 면에서 더욱 효과적이다. 또한 시속 300km 이상의 주행 시에도 고속철도의 안전을 확보할 수 있는 튼튼한 교량을 건설할 수 있다. 하지만 PSM 공법이 국내에서 교량 상부 구조 제작형식으로는 처음으로 도입되면서 기술적인 경험 미숙 등에 기인한 문제점 때문에 PSM 공법 본연의 장점을 제대로 살리지 못하는 것이 현실이다. 이에 논문에서는 처음으로 PSM 가설 공법을 사용한 현장 사례 분석을 통하여 생산성 향상 방안을 찾고 향후 PSM공

법 시행의 기초자료로 활용하고자 한다.

1.2 연구의 제한

교량공사의 작업품질은 시공사의 자체품질관리활동과 D사의 감독 등 이중의 품질관리 활동으로 교량 상판(P.C BOX GIRDER)의 제작이 처음부터 끝까지 동일하다고 가정한다. 그리고, 원자력 발전소의 검측 Sheet가 10여 종류인데 반하여 고속철도의 검측 Sheet는 26종으로, 다수의 품질체크 리스트로 품질관리의 정확성을 높였다.

2. PSM 공법 도입 배경

국내 고속철도 현장에 쓰인 P.C Box Girder 교량의 가설공법으로는 FSM(Full Staging Method), MSS(Movable Scaffolding System), ILM(Incremental Launching Method) 공법 등이 있으나, 본 경부고속철도에서는 주로 FSM 및 MSS 공법이 채택되었는데, 이는 설계 당시만 해도 본 공법들이 장대교량을 건설하는 데 있어 경제성 및 공사 기간 측면에서 최선의 것이라 판단되었기 때문이다.

그러나, 이중 당초 설계인 MSS공법의 문제점으로는 Cycle Time의 과다(약 30일/Span), 현장 타설 공사이기 때문에 기후 등의 불확정 요인에 의한 품질 변동요인 상존, 고속철도 전구간에 걸친 동시다발적인 교량공사 수행에 따른 전문 숙련공의 부족과 이로 인한 품질 저하 예상 및 MSS 가설 장비 대량 공급의 문제점, 현장 타설 공법으로 일기의 영향에 따른 공기지연 예상 등이 발생

* 종신회원, 한양대학교 건설환경시스템공학과 교수, 건설경영학 박사

** 학생회원, 한양대학교 토목환경공학과 석사과정

*** 일반회원, 현대건설 토목사업부, 공학석사

본 연구는 교육인적자원부의 두뇌한국21(BK21)사업과 과학기술부의 국가지정연구실(NRL) 지원사업 연구의 일부임.

되어 당초 설계인 MSS 공법으로는 공기 준수 및 최상의 교량 품질확보가 어려운 상황이었다.

물론 MSS 공법은 현재도 국내의 다수 교량 건설에 적용 시행되고 있는 보편적이고 우수한 공법이다. 그러나 MSS 공법은 현장 작업이 거의 대부분인 관계로 공장제작인 PSM과 비교했을 때 상대적인 취약성이 있다. 기후 조건의 악영향에 따른 공사기간의 지연 및 품질의 변동을 근본적으로 피할 수가 없으며, 철근 조립 및 거푸집 조립, 콘크리트 타설 등이 대부분 높은 장소에서의 작업이므로 이에 따른 안전관리에 상당한 어려움이 따른다.

공사기간 측면에서 볼 때에는 MSS 공법의 Cycle Time을 고려하여 적정 대수의 장비를 투입하면 준공기한 내 공사 완료가 가능하다. 그러나 이는 적정대수의 MSS 장비(2-2공구 14Set를 포함해서 서울-천안 구간만 26Set 이상 소요)와 적절한 숙련 기능공의 확보가 가능하다는 전제조건이 있어야 하는 것으로, 본 경부고속철도의 모든 시공사가 MSS공법을 채택할 경우 전체 구간이 동시다발적으로 MSS공법을 수행함으로써 인하여 발생하는 문제가 많을 것으로 예상된다. 따라서 국내 기술보유업체의 빈약함과 제작 기술의 낮음으로 인한 제작 기간의 과다 및 수급의 문제점이 필연적으로 발생할 수밖에 없으며, 과다한 MSS 장비의 투입으로 인한 국가 예산의 낭비, 숙련 기능공의 동시다발적인 수요로 인한 적절한 기능공의 확보에 어려움에 기인하는 품질의 저하 등 여러 가지 문제점들이 예상되었다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 본 현장에서는 상부구조 설계를 변경하여 유럽에서 최근 시행되어 안정성과 기술력의 실효성이 입증된 장대 교량 가설공법인 PSM 공법으로 개선 제안을 하게 되었다. 본 공법의 변경으로 P.C Box Girder 전지간을 프리캐스트(Pre-cast)화하여 교량 상부 구조를 공장에서 제작하고 특수 가설 장비로 현장 가설하는 방식으로 고속시공(25m Span당 제작 및 가설 2.5~3일) 달성 및 고도의 품질확보가 가능하게 하여 본 고속철도 사업이 요구하는 품질, 공기, 원가 특성 등 제반 조건에 부합되도록 하였다.

3. 본론

H사의 경부고속철도 현장에서 시행되고 있는 PSM공법의 단계별 시공순서는 다음과 같다.

- a. PC 제작장 설치 b. 교량 상판(Box Girder)의 제작
- c. 운반 및 설치 작업 d. 연결 및 마무리 작업

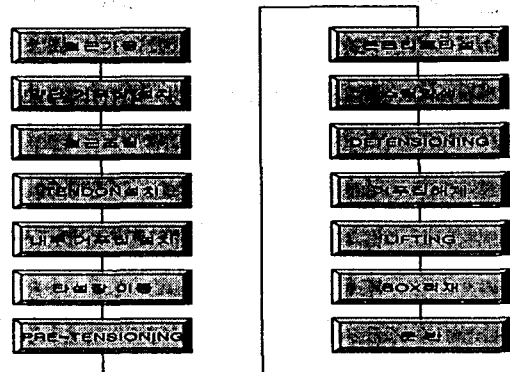


그림 2 PSM 교량 상판 생산 SYSTEM

본 연구에서는 PSM 공법의 네 가지 가설 단계 중 교량 상판(Box Girder)의 제작 단계 즉, P.C. Box Girder의 공장 생산단계의 사례분석을 통한 생산성 향상 방안을 논하고자 한다. Box Girder의 생산단계는 그림1과 같은 생산 시스템으로 표현 할 수 있다.

표 1 인원투입에 대한 생산성 비교

	'98,8	9	10	11	12	'99,1	2	3	4	5
투입 인원 (A)	1,958	2,560	2,335	2,734	2,918	2,675	2,075	2,977	3,080	3,247
생산 개수 (B)	4	10	9	9	10	8	8	10	11	12
투입 대비 (A/B)	489.5	265.4	259.4	303.8	324.2	297.2	311.1	270.6	280.0	270.6

	6	7	8	9	10	11	12	'00,1	2	비고
투입 인원 (A)	3,410	3,473	3,819	2,709	3,805	3,758	3,300	2,513	2,371	
생산 개수 (B)	11	12	13	9	15	15	14	11	12	
투입 대비 (A/B)	310.0	289.4	293.8	301.0	253.7	250.5	235.7	228.5	197.6	

표1의 투입인원 대비 생산 개수 즉, 교량 상판(Box Girder) 하나당 투입인원을 그래프로 나타내면 그림 3과 같다.

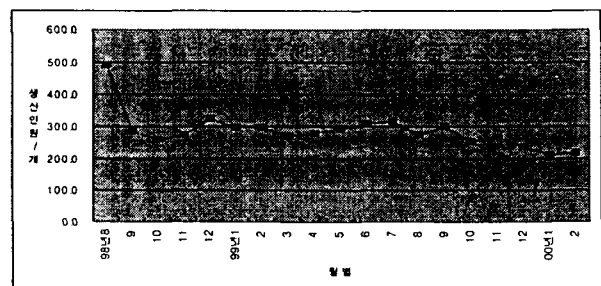


그림 3 인력투입에 대한 생산성 비교

공사 초기에 생산성이 낮은 이유는 수년간 같은 직종(예: 철근조립, 콘크리트 타설)에 작업을 했던 숙련공들도 처음 대하는 신공법에 대해서는 작업절차(Work Procedure)가 생소하기 때문에 품질(생산물)에 대한 확신을 가질 수가 없다. 그래서 하나 하나의 생산결과에 대한 지속적인 보완(Feedback)을 해야하기 때문에 작업 공정이 그만큼 늦어지는 것이다. 반면에 98년 9, 10월은 Span 생산의 목표치를 정해놓고 Span 개수에 따른 차등 포상금제(인센티브)를 실시하여 안정적이고 지속적인 생산성 향상 효과를 얻을 수 있었다. 그 내용을 살펴보면 다음과 같다. 인센티브 대상은 PSM 공장 내 생산 및 거치 작업의 전 근로자를 대상으로 하였으며 대상기간은 1998년 8월17일부터 1998년 10월 3일까지로 하였다. 기본 생산수량을 11Span(8월 3Span, 9월 8Span)으로 하고 12Span 생산 시 200,000원/인(전체 14,000,000원), 13Span 생산 시 250,000원/인(17,500,000원), 14Span 생산 시 300,000원/인(21,000,000원)을 각각 지급하기로 했다. 이에 따라 추석 전까지 근로자들의 절실한 노력으로 14Span을 무사히 생산할 수 있었다. 그만큼 Span 하나당 생산 투입인원이 낮아질 수 있었다. 99년 1월,2월경에는 설날 연휴로 인한 PSM Span의 생산일수의 부족도 있지만 동절기 기온 하강으로 인해 콘크리트 중기 양생 후 외부 온도와의 차에 의한 즉, Thermal sock에 의한 hair crack이 단부쪽에 발생하기 때문에, 동절기에는 중기 양생시간을 3hr~6hr로 늘리고 보일러 가동이 중단된 상태에서 양생 Cover를 12hr~24hr동안 그대로 유지하여서 생산 일정이 지연되었다. 반면, 2000년 동절기에는 작업목표가 어느 정도 달성되어 인원이 적게 투입된 것도 있지만 작업장(철근 조립장, 콘크리트 타설장) 주위에 포장을 함으로서 작업조건에 의한 생산성 증가도 있다. 그리고, 99년 6월, 7월에도 장비고장으로 인하여 생산성이 하락하였고 99년 9월에도 장비고장과 추석 연휴가 겹쳐서 생산활동에 차질이 생겼다. 이러한 장비 고장의 주요 원인으로서는 프리텐션 작업시 강선 파단 현상, 보일러 배관상의 문제로 중기양생의 온도가 올라가지 않음, 콘크리트 생산중 배치 플랜트 고장, 자동온도 조절시스템의 불량, 프리텐션 작업용 잭 고장, 양생후 Honey Comb 및 미세한 균열 발생, 콘크리트 타설시 콘크리트 펌프 고장 등이 있다. 이 공사에 쓰인 대부분의 PSM 장비는 이탈리아에서 대여하였는데 장비 대부분이 과거 몇 년 동안 현지회사에서 이미 사용하였던 장비들로서 콘크리트 펌프나 프리텐션 장비들은 노후가 되어 있어 고장이 나더라도 장비 지식이 부족하였기 때문에 바로 수리를 하지 못하고 교체하였다. 장비고장으로 인해 생산활동이 중단된 상태에서 장비수리와 정비 작업만으로는 기성고가 올라가지 않기 때문에 기능공들의 의욕이 감퇴되며 생산성 저하로 이어진다. 또한, 99년 10,11,12월에는 물량에 의한 성과급(인센티

브)을 통해 생산성을 향상할 수 있었다.

그리고, 당 현장에서는 시각적인 효과를 크게 거둘 수 있는 생산성 측정방법인 막대그래프를 이용하였다. 즉, PSM공법에 의한 Concrete Box Girder의 생산활동을 매월 계산하여 막대그래프를 이용한 통계로 나타내고 이 막대 그래프를 이용하여 Quantity에 대한 생산성을 체크하였다.

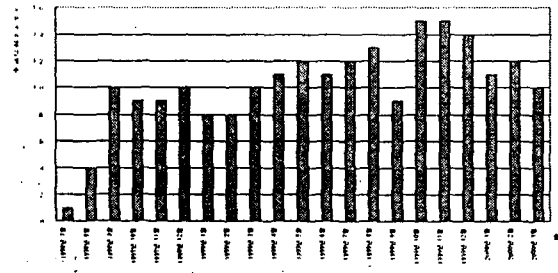


그림 4 월별 Span의 생산개수

이러한 막대그래프로 사용하여 여러 팀 (철근 가공조, 철근 조립조 등등)별로 그 달 작업에 대한 목표를 세운 다음 게시판에 공고를 하여 여러 사람들에게 알림으로서 자기 팀에 대한 단합을 유도하고, 목표에 대한 의욕을 고취시킬 수 있다.

4. 생산성 향상 방안

PSM공법은 경부고속철도 공사에서는 처음으로 도입한 공사이기 때문에 공사 초기에는 작업원들의 공법에 대한 이해나 기술적인 자질면에서 많이 부족하였던 것 같았다. 하지만 공사가 진행되면서 정상적으로 공사를 수행할 수 있는 점으로 미뤄 볼 때 작업원들의 공법에 대한 숙련도가 아주 중요하다. 그리고, PSM공법으로 수행한 작업에 대한 철저한 피드백으로 작업방법의 지속적인 개선, 현장여건에 맞는 지속적인 훈련 교육으로 종업원들의 자질을 키울 수 있는 방안도 마련되어야 할 것이다.

PSM공법 같이 반복적이고 어려운 작업에서는 초기 Incentive의 실시로 초기 생산성 향상을 가져올 수 있다. 작업원들은 자기들 조직이 최고로 능력을 발휘했을 때의 생산성을 가늠하지 못하기 때문에 공사 초기에 어느 정도 수준까지 생산성을 올려놓으면 순조롭게 공사가 진행될 것이다. 그리고, 인센티브를 제공함으로써 작업원들이 생산성을 향상할 수 있도록 동기부여를 할 수 있다. 이러한 Incentive 플랜을 정리 하면, 대가의 빠른 지급, 칭찬을 통한 관심 끌기, 대가를 현금으로 지불, 작업물량에 의한 시간 인센티브 등을 통하여 생산적인 효과를 가져온다.

PSM공법은 콘크리트 타설공법이기 때문에 콘크리트의 특성상 동절기에는 양생의 지연으로 인한 작업시간의

지연이 발생하기 마련이다. 그러므로, PSM 공장 설치 시 동절기 온도 강하에 대비한 적절한 장치를 마련하여 작업조건에 의한 생산성 향상을 꾀할 수 있다.

PSM 공법에 쓰이는 장비는 대부분이 외국에서 들여온 것이 많기 때문에 장비 고장 시 많은 문제점들이 발생하였다. 이러한 장비에 대한 지식이 부족하였기 때문에 고장이 나더라도 수리하지 못하고 대부분을 교체하였다. 따라서, 생산 장비에 대한 정기적인 점검과 보수가 반드시 이루어져야 하며, PSM장비에 대한 좀더 전문적인 연구와 개발이 확대되어야 한다. 그리고, 외국에서의 장비조달로 작업시간 지연이 불가피하였다. 따라서, 향후 국내에서 PSM공법의 사용이 훨씬 늘어날 것으로 예상되는바 장비조달로 인한 작업시간 지연을 방지하기 위해 PSM 장비에 대한 국산화가 조속히 이루어져야 한다.

그리고, 게시판을 이용하여 종업원들의 생산능력에 대한 의욕을 고취시키는 것은 반복적인 생산작업 형태에서 매우 효과적이다. PSM공법에서는 철근 가공조, 철근 조립조, 폼 조립조, 콘크리트 타설조, Girder설치조 등으로 세분화되어 분업화되어 있다. 이런 반복적인 생산작업 형태에서는 팀웍 또한 성공의 중요한 요소이다. 그러므로 팀을 구성하고 있는 구성원들이 자주 교체되어서는 안 되며 게시판 등을 이용하여 팀의 사기를 들을 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 현장사례 분석을 통하여 신공법인 PSM공법을 이용한 생산성 향상 방안에 대해서 알아보았다. 본 사례현장의 경우 생산성에 영향을 많이 미치는 요인으로는 기능공의 숙련도 미숙, 장비운영관리 미흡, 동절기 콘크리트 양생 조건 등을 발견하였다. 따라서 생산성을 향상시키는 방안으로 기능공들의 숙련도 증진, 생산

성 향상을 위해 인센티브제도의 도입을 통한 기능공의 동기부여, 관계자간의 긴밀한 협조, 조직적인 팀웍, 생산적인 작업 여건 조성, 수행한 작업에 대한 철저한 피드백으로 작업방법의 지속적인 개선, 현장여건에 맞는 지속적인 교육훈련 등을 제시하였다.

건설의 세계화, 국제화를 지향하는 시점에서 노동집약적인 생산 시스템으로는 환경변화에 따른 질적 대응을 하기 어렵다. 이러한 어려운 현 시점에서 최선 공법을 도입하여 고속 철도공사 시공관리기술을 축적하여야 한다. 국내 건설에서 PSM공법은 아직 초보단계이기 때문에 경험적 체계정립과 우리여건에 맞는 표준적인 작업절차서, 장비개발 등의 연구가 진행되어야 한다. 아울러 이런 방법을 통해서 PSM공법의 생산성 향상을 위해 꾸준히 노력해야 한다.

참고문헌

1. G. J. Thuesen, 1993, Engineering Economy 8th, Prentice-Hall international
2. 김길홍, 2001, PSM공법을 통한 생산성 향상에 관한 연구, 한양대학교 석사 학위 논문
3. 김문한 외, 1999, 건설경영공학, 기문당
4. 김예상, 1999, 건설생산성 관리, 건설기술교육원
5. 이태식, 배건외, 2001, PSM 생산성 향상을 위한 의사결정 모델 개발
6. 이태식, 이성현, 김길홍, 2001, 공기비교를 통한 PSM 공법과 MSS 공법의 생산성 연구
7. 동부건설, 2001, 공사지
8. 한국건설산업연구원, 2000, 건설관리 및 경영, 보성각
9. 현대건설, 1995, PSM 시공계획서

Abstract

PC Box Girder was constructed by PSM(Precast Span Method) to solve the shortage of the construction period. The site case study was used in the PSM to find the construction productivity improvement. In this case study, main reasons of low productivity were founded unskilled technical engineers and insufficient equipment management winter season concrete curing condition. Productivity improvements are presented by assigning production personnel appropriately, motivation which increased by providing incentives for technical engineers, strictly cooperation of each participant, organizational teamwork, and promoting productive work condition. Additional method of productivity improvements are continuous improvement of the work methods by considering the feedback on previous work, and continuous training to best handle the site conditions. This study of productivity improvement will help to use the most advantage of the PSM method and desire to successfully plan the future construction performance.

Keywords : PSM method, productivity, cycle time, incentive
