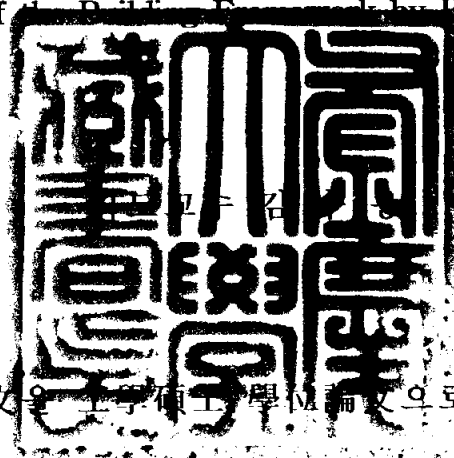


7001
hcs
18
20

공학석사 학위논문

EVMS에 의한 건축골조공사의 최종예상공사비(EAC) 평가방법

Evaluation Methods of Estimate At Completion
of the Building Framework by EVMS



이 論文을 工学碩士學位論文으로 提出함

2003년 2월

부경대학교 대학원

건설사업관리공학협동과정

박 은 진

朴銀眞의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 12월 26일

주 심 농 공 학 박 사 이 영 대



위 원 공 학 박 사 이 수 용



위 원 공 학 박 사 김 수 용



목 차

제1장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	2

제2장 이론적 고찰

2.1 연구 현황	3
2.2 EVMS	6
2.3 최종예상공사비	13
2.4 비모수검정(Noparametric Test)	18

제3장 EAC평가방법에 대한 타당성 검증

3.1 EAC를 예측하기 위한 평가방법	21
3.2 가설	22
3.3 대상 프로젝트의 가설검정	25
3.3.1 대상 프로젝트	25
3.3.2 프로젝트 데이터분석 결과	26
3.3.3 가설검정	41
3.3.4 가설검정 결과	42
3.4 최종예상공사비(EAC)평가방법 제안	51

제4장 결론 및 발전방향	52
참고문헌	53
Abstract	58

표 목 차

표 1. EVMS의 연구현황	5
표 2. EVMS의 구성요소	11
표 3. EVMS의 주요 업무 구성	12
표 4. 최종예상공사비(EAC)평가방법	21
표 5. 비용편차 · 비용성과지수관련 가설설정	22
표 6. 공정편차 · 공정성과지수관련 가설설정	23
표 7. 조사대상 프로젝트 개요	26
표 8. 수량산출기준을 참고로 작성한 공정분류코드의 예	28
표 9. 공정을 14.2%일 때의 실적분석	31
표10. 공정을 20%일 때의 실적분석	31
표11. 공정을 34.2%일 때의 실적분석	32
표12. 공정을 43.5%일 때의 실적분석	32
표13. 공정을 55%일 때의 실적분석	33
표14 공정을 65%일 때의 실적분석	33
표15. 공정을 80%일 때의 실적분석	33
표16. 프로젝트별 실적분석	37
표17. 비용편차의 비율	38
표18. 공정편차의 비율	38

그 립 목 차

그림 1. EVM개념의 전개과정	8
그림 2. EVMS에 의한 계획수립 절차	10
그림 3. 수리적이거나 일정에 대하여 초과한 EAC	15
그림 4. 누적 CPI에 의한 EAC	16
그림 5. CPI와 SPI의 조합에 의한 EAC	17
그림 6. TCPI	18
그림 7. 일반적인 건축공사의 WBS	27
그림 8. 주상복합건축물공사의 WBS	29
그림 9. 프로젝트A의 WBS	30
그림10. 프로젝트A의 CV · SV비율의 변화	34
그림11. 프로젝트A의 성과지수의 변화	34
그림12. 프로젝트A의 EVMS성과분석	36
그림13. 프로젝트별 비용편차의 비율 비교	38
그림14. 프로젝트별 공정편차의 비율 비교	38
그림15. 프로젝트별 비용성과지수의 비교	39
그림16. 프로젝트별 공정성과지수의 비교	39
그림17. 비용편차의 정규성 검증	41
그림18. 공정편차의 정규성 검증	42
그림19. 미니탭을 이용한 비용편차(금액)의 검정결과	43
그림20. 미니탭을 이용한 비용편차(비율)의 검정결과	44

그림21. 미니탭을 이용한 비용성과지수의 안정성 검정결과	45
그림22. 미니탭을 이용한 비용성과지수의 검정결과	46
그림23. 미니탭을 이용한 공정편차(금액)의 검정결과	47
그림24. 미니탭을 이용한 공정편차(비율)의 검정결과	48
그림25. 미니탭을 이용한 공정성과지수의 안정성 검정결과	49
그림26. 미니탭을 이용한 공정성과지수의 검정결과	50

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건설시장의 환경에 따르는 여러 불확정적인 요소로 인하여 다양한 리스크를 수반하는 건설 프로젝트가 성공적으로 수행되기 위해서는 원가·공정관리 및 품질관리 등의 여러 제반 관리업무들이 상호 밀접한 관계를 유지하면서 프로젝트 종료 시까지 지속적인 관리가 수행되어야 한다. 이에 정부에서는 낙후된 국내 건설관리기술을 개선·선진화하여 투명하고 합리적인 공사관리체계가 이루어질 수 있도록 500억 이상 공공부분 공사를 대상으로 일정·비용을 통합 관리하는 EVMS(Earned Value Management System)를 도입하여 2000년 7월 1일자로 제도화하였다. EVMS는 프로젝트 범위 정의, 일정계획, 예산수립, 관리기준선작성, 진도관리, 프로젝트 예측으로 주요 업무들을 분류할 수 있다. 이 중 프로젝트 예측단계에서는 실적자료(EV Data)를 이용하여 다양하게 최종예상공사비(Estimate At Completion : EAC)를 예측할 수 있다. Earned Value를 사용하는 가장 중요한 이유는 프로젝트 관리자가 사업진도를 15% 경과시점부터 프로젝트의 최종예상공사비와 공정에 대한 결과를 통계적으로 예측 할 수 있고, 또한 프로젝트에 대한 “조기정보”로서의 역할을 하기 때문이다(Christensen 1993). 따라서 최종예상공사비의 정확한 예측은 프로젝트에 중요한 영향을 미친다. 그러나 국내건설공사의 대부분의 경우는 프로젝트 관리자가 최종예상공사비를 너무 낮게 예측함으로써 프로젝트 자금의 흐름을 악화시키는 경우가 종종 발생한다.

따라서, 건설프로젝트에서 최종예상공사비를 정확하게 평가하고 현실적인 비용을 측정하는데 유용하게 사용하기 위하여 최종예상공사비의 평가방법이 필요하며 그에 대한 타당성을 검증할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 국내 건축골조공사 중 철근콘크리트(R.C)조를 중심으로 비용 및 공정에 관련된 최종예상공사비

평가방법의 타당성을 검증하고, 그에 적합한 EAC 평가방법을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

프로젝트의 예측은 그것의 승패를 좌우하는 중요한 요소 중의 하나이므로 프로젝트의 진도관리에 의한 실적자료 분석과 함께 최종예상공사비를 조기에 정확하게 예측해야 한다는 것이다.

이에 본 연구에서는 국내 건축골조공사 중 철근콘크리트(R.C)조를 대상으로 사업진도율 20%시점과 최종시점에서의 비용편차(CV)와 비용성과지수(CPI), 공정편차(SV)와 공정성과지수(SPI)가 현실적인 비용을 측정하는데 유용하게 사용되고 있는가에 대한 타당성을 통계적 방법을 이용하여 검증하고, 국내 건설공사에 적절한 최종예상공사비 평가방법을 제안하고자 한다. 본 연구의 수행방법은 EVMS의 개념 및 적용절차 그리고 기본적인 구성 요소와 EVMS의 주요 업무들에 대하여 먼저 정의하고 실적자료 분석과 최종예상공사비 예측 방법에 대한 문헌조사 및 분석을 수행한다. 다음으로 최종예상공사비의 조기 예측을 평가하기 위하여 연구가설을 세우고 가설검정에 필요한 프로젝트 사례를 대상으로 작업분류체계(WBS), 수량산출기준을 이용하여 EVM기법에 따라 재작성하여 가설검정에 필요한 실적자료인 누적 기성, 누적 실제비용, 사업진도율 20%시점과 80%달성시점 후에서의 계약공사비(BAC)를 분석함으로써 비용편차(CV)와 비용성과지수(CPI), 그리고 공정편차(SV) 및 공정성과지수(SPI)에 의하여 최종예상공사비가 정확하게 예측되었는가에 대한 평가 도구로서의 타당성을 검증하고 EAC평가방법을 제안한다. 단, 프로젝트 사례는 정액계약형태의 중·소규모의 건축공사와 아파트 공사를 대상으로 한다.

제 2 장 이 론 적 고 찰

2.1 연구현황

EVM기법과 관련된 연구논문들은 주로 작업분류체계(Work Breakdown Structure : WBS)의 작성에 의한 프로젝트의 업무정의와 비용·일정 통합모델개발과 이러한 통합모델구성에 필요한 관리계정(Control Account), EV측정을 위한 진도율 산정방법과 Software Program의 응용에 대한 연구가 이루어졌고 지금도 진행되고 있다. 그리고 이와 더불어 비용초과(Cost OverRun)와 관련하여 최종예상공사비(EAC)에 관한 다양한 예측기법과 신뢰성에 대한 연구가 병행되고 있다.

프로젝트 예측과 관련하여 Randal B. Lorance P.E. and Robert V. Wendling¹⁾는 그들의 논문에서 Monte Carlo Simulation을 이용하여 비용 리스크를 분석하고 그 분석방법에 관하여 표현하였으며, EVM기법의 가장 중요한 성과분석과 예측기능의 신뢰성에 관한 연구 또한 활발하게 이루어졌다. 그 중 Uata 대학의 David S. Christensen(1993)은 미공군기술연구소(Air Force Institute of Technology)에서 EV관련 업무를 수행했던 경험을 바탕으로 실행성과지수(Performance Index)들을 이용하여 최종예상공사비에 대한 연구를 수행하였으며, 특히 미해군(U.S. NAVY)의 Aviation Project인 A-12 Program이 계약자의 최종개발비용에 대하여 지나친 낙관적 예측으로 인하여 실패한 경험과 관련하여 성과지수들과 관련하여 최종예상공사비의 문제점들을 도출하였다.²⁾ 그리고 보다 정확한 EAC를 추정하기 위하여 다양한 형태의 지수(Index)를 사용하여 EAC를 분석하는 방법에 대해 많은 연구를 수행하였다. 또한 비용과 혜택(Benefits)의 측면

1) Randal B. Lorance P. E. and Robert V. Wendling "Basic Techniques for Analyzing and Presentation of Cost Risk Analysis"

2) David. S. Christensen, "Project Advocacy and The Estimate at Completion Problem" 1996

에서 EV개념과 관련된 기준들을 고려한 EVM방법에 관한 연구를 수행하였으며, 또한 John R. Cole, Jr and Judson M. Fussell(1997)에 의해서도 비용과 혜택의 측면에서 기준들에 대한 평가가 수행되었다.³⁾

그리고 Quentin W. Fleming and Joel M. Koppelman은 그들의 공동저서인 "Earned Value Project Management "에서 여러 가지 성과효율인자(performance efficiency factor)를 이용하여 최종예상공사비를 예측하여 EV개념에 의해 프로젝트를 관리하는 방법을 설명하였다.⁴⁾

국내의 경우, 1999년부터 국내건설현장의 건설관리기술을 개선·향상시키고 효율적인 프로젝트관리를 위해 EVMS 도입을 위한 소개가 본격적으로 이루어졌으나 짧은 도입기간과 제한적인 적용으로 EVMS에 의한 관리경험이 적고 기술적인 분석이나 개선 안에 관한 연구가 아직은 많이 부족한 편이다. 그러나 최근 EVMS의 도입이 활성화되면서 관련 논문이나 연구결과물들이 발표되고 있다. EVMS관련 국내연구결과물들은 비용·일정통합모델 구성에 필요한 관리계정(Control Account), 작업분류체계, 정책적인 측면과 비용과 일정을 통합하는 방향과 전산화를 위한 정보분류체계, 관련기준들에 대한 연구, 진도율 산정방법과 Software Program의 응용에 대한 연구, EV프로젝트의 비용·작업계획 수립과 운영에 대한 연구 그리고 최종예상공사비 분석에 관하여 어느 정도 연구가 이루어졌다.

김양택과 현창택(2000)은 Work Packaging Model의 개선을 통하여 국내 건설현장에 적합한 공정-공사비통합모델을 구축하는 방안에 관한 연구를 수행하였고, 최윤기는 공사실적을 정확히 파악하기 위하여 일정과 비용정보가 할당되어 분할된 각 단위작업의 건설공사 진도율 산정 모델을 제시에 대한 연구를 수행하였다.⁵⁾ 그리고 김선규와 김재준(2000)은 EVMS의 최종공사비 예측(EAC) 모델이

3) Cole, John R. Jr. and Fussell, Judson M., " A Cost-Benefit Analysis of Earned Value Management System Criteria", Thesis of Master Degree of Science in Cost Analysis, Air force Institute of Technology, 1997

4) Fleming, Quentin W. and Koppelman, Joel M. "Earned Value Project Management", Project Management Institute, 2000 pp217~140.

국내건설환경에 적합한지에 대한 여부와 다양한 성과지수별 최종예상공사비 모델의 신뢰성을 검증하여 국내건설현장과 외국의 사례의 비교·분석을 시도하였다.⁶⁾ <표 1>에서 EVMS의 연구현황을 연구분야별로 국외와 국내로 구분하여 나타내었다.

<표 1> EVMS의 연구현황

연구분야	국외	국내
비용·일정 통합 모델 구축 관련	CII(1987) Abudayyeh and Rasdorft(1991) Nevins, Roland and O'Relly(1993)	김우영·김옥규·최윤기· 이현수(2002), 송창영·유봉열·이수곤 (2002), 대림기술정보(2002)
EV 프로젝트의 비용·작업계획 수립 및 운영	Frank D. Postula(1991) U.S. DOD(1993) W. Fleming and Koppelman(2000)	김영재·김경래·김선규 (2002), 이양호(2002)
소프트웨어이용 EV적용 관련	W. Fleming and Koppelman(1998) Goldberg and Weber(1998) Walter H. Lipke(2000)	박익수(2000) 고려개발(2001)
프로젝트분석 및 예측관련	Willam R. Duncan(1987) Juan N. Amaral(1989) David s. Christensen(1993,1996,2002)	김선규·김재준(2000)
프로젝트 진도율산정	Eldin(1989) Clark & Lorenzoni(1997)	이복남(1997), 최윤기(1999) 원동수·김우영·이현수 (2001)

5) 최윤기, “단위작업별 내역물량 측정에 의한 공사진도율 산정 모델”, 대한건축학회논문집 구조계 제18권 제2호(통권 제160호), 2002. 2

6) 김선규, 김재준, “EVMS 최종공사비 예측 모델 최적성과지수에 대한 고찰”, 건설관리학회지 한국건설관리학회, 제1권 제3호(통권 제3호), 2000, pp.101-017

2.2 EVMS(Earned Value Management System)

(1) EVMS의 개념 및 전개

EVMS(Earned Value Management System)는 미국방부(DOD)에 의해 프로젝트의 자원조달 및 예산 집행관리(Cost Performance Management)를 위하여 C/SCSC(Cost/Schedule Control System Criteria)을 개발 운영하면서 발전된 개념이다. 따라서 EVM(Earned Value Management) 프로젝트의 일정과 비용을 통합하여 수립된 계획(Planned Value)에 대하여 투입된 실제비용(Actual Cost)과 실적(Earned Value)을 비교하고, 프로젝트의 진도를 측정·관리하는 방법을 의미한다. 여기서 기성(Earned Value)이란 계획했던 것에 대하여 획득된 가치를 말하는 것으로 사업의 특정시점에서 실제 수행된 작업량 또는 사업 진행율과 유사한 개념이다. 이러한 EVMS에 대하여 미국 예산 관리처에서는 “프로젝트 사업비용, 일정 그리고 수행목표의 기준설정 및 실제 진도측정을 통한 성과위주의 관리체계”⁷⁾라고 정의하였으며, Fleming & Koppelman은 “상세히 작성된 작업계획에 실제 수행작업을 주기적으로 측정하여 프로젝트의 최종사업비용과 일정을 예측할 수 있도록 하는 관리기법”⁸⁾이라고 정의하고 있다.

EVMS는 과학적인 관리방법을 연구하던 미국의 산업공학자들이 산업현장에서 실행성과를 측정하기 위해 계획기준(Planned Standard)과 실제비용(Expenses)을 실적기준(Earned Standard)과 비교 측정함으로써 작업(Work)의 성과효율을 평가하고자 하였으며, 이러한 결과로 기본적인 EVM이 처음 등장하였다. 1950년대에 Flow Diagram형태의 네트워크공정관리기법인 PERT(Program Evaluation Review Technique)가 등장하였으나 통계적 측면을 강조하는 PERT의 분석과정을 처리할만한 컴퓨터시스템과 같은 연산장치가 개발되지 않아 활성화되지 못하였으며, 비슷한 시기에 개발된 CPM(Critical Path Method)에 비해서도 그다지 성공적이지 못하였다.

7) DOD, Earned Value Management Implementation Guide, DOD, 1997, p.1

8) Fleming & Koppelman, Earned Value Project Management, PMI, 1996, pp.3-12,

EVMS는 민간사업분야를 위한 프로젝트관리시스템(Project Management System)과 같은 형태를 갖추기 이전, C/SCSC(Cost/Schedule Control System Criteria)형태에서 정부발주프로젝트에 대하여 비용과 일정을 통합 관리하는 Earned Value Management에 대한 연구가 오래 전부터 이어져왔다.

EV개념을 바탕으로 현재와 같은 프로젝트관리시스템 형태의 비용·일정 프로젝트 통합관리기법으로 연구된 것은 1962년에 개발된 PERT/Cost에서 시작되었으며, 이것은 미해군(U.S. NAVY)에서 개발한 일정관리도구인 PERT에다 자원을 배정한 것이다. PERT/Cost가 포함하고 있는 보고양식 중 “Cost of Work Report”안에는 수행된 작업의 가치(Value of Work Perform)와 실제비용(Actual Cost) 관계를 나타내는 EV분석 개념에 의한 보고서 작성을 요구하였으며, 이후 미공군(USAF)의 장성 Driessnack이 중심이 되어 “Cost Schedule Planning and Control Specification Group”에 의해 보다 정형화된 형태의 Management Control System으로서의 EVM기법에 대한 연구가 이루어져 C/SPCS(Cost/Schedule Planning & Control Specification)이라는 기준들이 만들어졌다. 그리고 1967년 미국방성(DOD)의 구매조달프로젝트의 성과 관리를 위한 표준도구로서 35개의 기준으로 이루어진 C/SCSC내의 EV개념은 정부의 구매조달프로젝트에만 적용 가능하여 매우 제한적으로 적용되어, 민간산업의 프로젝트 관리도구로서는 적합한 형태가 아니었다. 이에 1995년 4월 애리조나 피닉스에서 열린 국방방위산업협회(National Defense Industrial Association : NDIA)의 Management System Subcommittee의 정례모임에서 기존 C/SCSC의 EV기준들에 대한 재검토와 민간산업부문에 적합한 형태의 EV기준들의 개발에 대한 요구가 대두되었다. 따라서 C/SCSC의 35개 기준들에서 32개의 기준으로 재 작성된 민간산업용 Earned Value Management System이 만들어졌다. 그리고 미국방성(DOD)산하 Security of Defense for Acquisition & Technology의 Dr. Paul Kaminski(1996)에 의하여 C/SCSC를 공식적으로 포기하고, “Instruction 5000.2R”을 통하여 민간산업계용 EV를 받아들임을 발표하였다. 그리고 국가방위산업협회

(NDIA)의 Management System Committee는 EVM이 미국방성(DOD)의 구매프로젝트 뿐만 아니라 민간산업부문에까지 적용될 수 있도록 미국표준협회(American National Standard Institute : ANSI)와 전기협회(Electronic Industry Association : EIA)의 표준으로 채택되도록 승인을 요구하였으며, 1998년 7월 ANSI/EIA 748규정으로 공식적으로 승인을 얻었다.⁹⁾ <그림 1>에서 EVM개념의 전개과정을 나타내었다.

시 기	내 용	참 고
1890년대	산업현장에서 작업성과효율 측정을 위해 EV개념 사용	산업공학자들에 의해
1950년대	→ CPM기법 개발 → PERT등장	← DUPONT ← U.S. NAVY
1960년대	→ PERT/cost 등장	← USAF. C/SPCS Group
1967-1996	→ 비용일정관리체계기준 C/SCSC(30년간 지속)	← U.S. Department of Defens
1995년대	민간사업용 EV기준 개발 요구	NDIA산하 Management System Subcommittee의 정례모임
1998년대	ANSI / EIA 748규정	미국표준협회(ANSI), 전기협회(EIA)
2000	Simple EVMS 개발	

<그림 1> EVM개념의 전개과정

9) Fleming & Koppelman, Earned Value Project Management, PMI, 2000, pp.25-33

(2) EVMS의 적용과정 및 주요 업무정의

EVMS에 의한 관리절차는 프로젝트에 따라 다소 차이가 날 수 있다. 따라서 EVM기법에서의 프로젝트 계획수립절차는 일반적으로 다음과 같다.

첫째로 프로젝트의 작업범위에 대해 작업분류체계를 사용하여 작업에 대한 설명(Statement)과 범위(Scope)를 정의하고, 작업을 실행하는 담당조직을 할당하여 두 가지 체계를 연계하여 통합한다.

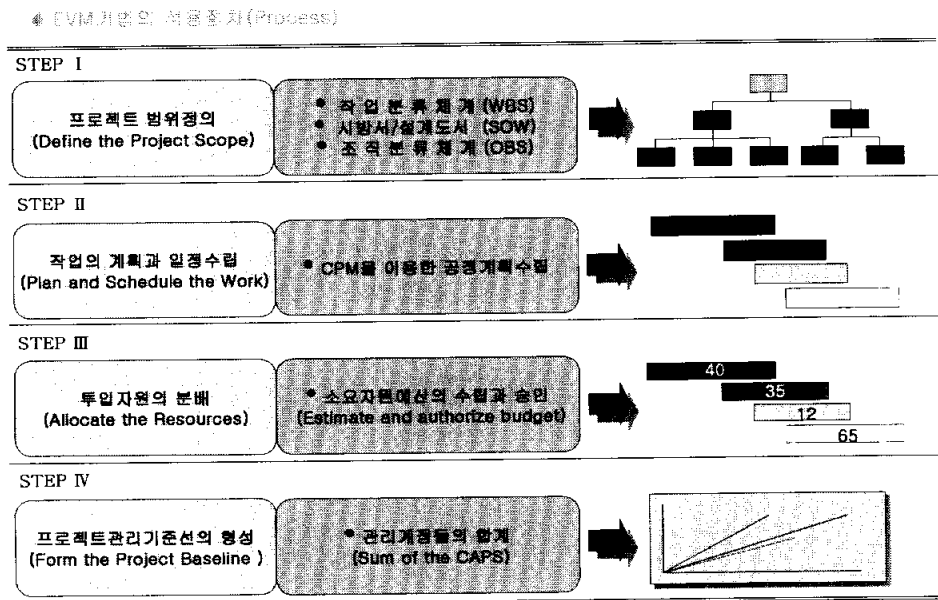
두 번째로는 정의된 작업범위에 대하여 관리제정별(CAPs) 작업순서에 기초하여 일정계획을 수립하는 과정으로, 세부적인 복합작업(Work Package)수준 또는 단일작업(Task)수준으로 네트워크다이아그램(CPM)을 이용하여 공정계획을 수립한다.

세 번째로 프로젝트에 요구되는 자원들(Resources)을 배분하는 것으로 견적(Estimate)하고, 공식적인 프로젝트 예산(Budget)으로 반영한다. 그리고 마지막으로 관리제정들이 각각 단위공사금액을 가지게 되고 프로젝트의 일정에 따라 누적합산하여 프로젝트관리를 위한 실행측정기준선(Performance Measurement Baseline : PMB)을 형성한다.

그러나 프로젝트 조건과 상황에 따라 투입자원들의 사용이 제한되는 경우가 발생할 수 있으므로 프로젝트의 작업계획을 먼저 수립한 다음, 투입자원의 사용 제약여부에 따라 프로젝트 자원계획을 우선적으로 수립하고, 마지막으로 작업에 대한 일정계획을 수립하는 경우도 있다. EVMS의 적용절차를 <그림 2>에서 참고하시오.

EVMS의 업무에는 주로 6가지의 업무로 구분할 수 있다. 첫째, 프로젝트 범위 정의로서 프로젝트에 대하여 작업분류체계를 사용하여 명확하게 분류하여 작업간의 범위를 정의하고, 작업을 수행할 담당기능조직(OBS)과 연결하는 것이다. 둘째, 프로젝트 일정계획(Plan and Schedule)으로 CPM방식의 일정관리시스템을 이용하여 일정계획을 수립한다. 셋째, 프로젝트에 요구되는 자원수량을 파악하고,

프로젝트 전체 예산을 수립하는 함으로써 프로젝트 예산수립(Estimate & Budget)이 있다. 넷째, 각각의 관리계정을 누적·합산하여 관리기준선을 설정하는 프로젝트 관리기준선작성(Project Management Baseline) 업무와 프로젝트의 진도관리(Monitoring)업무가 있다. 마지막으로, 프로젝트의 실적자료(EV Data)를 이용하여 다양한 방법으로 최종예상공사비를 예측하는 프로젝트 예측업무가 있다. EVMS의 구성요소에 대하여 <표 2>에서 참고 할 수 있으며, <표 3>에서 EVMS의 주요 업무의 구성을 참고 할 수 있다.



<그림 2> EVMS에 의한 계획수립 절차¹⁰⁾

10) 이양호, “MRP기법을 이용한 EVMS의 복합자원·자원계획”, 석사학위논문, 부경대학교, 2002, p.15

<표 2> EVMS의 구성요소

구 분	약 어	용 어	내 용
계 획 요 소	WBS	Work Breakdown Structure	작업분류체계
	CAP	Control Account Plan	관리계정
	PMB	Performance Measurement Baseline	실행측정기준선
	CBS	Cost Breakdown Structure	비용분류체계
	OBS	Organization Breakdown Structure	조직분류체계
	WP	Work Package	복합작업
	MR	Management Reserve	예비비
	BAC	Budget at Completion	목표(계약)공사비
측 정 요 소	BCWS (=PV)	Budget Cost for Work Scheduled (=Planned Value)	계획공사비
	BCWP (=EV)	Budget Cost for Work Performed (=Earned Value)	실적진도
	ACWP	Actual Cost of Work Performed	실 투입비용
분 석 요 소	SV	Schedule Variance	공정차이
	CV	Cost Variance	비용차이
	SPI	Schedule Performance Index	공정성과지수
	CPI	Cost Performance Index	비용성과지수
	TCPI	To Complete Performance Index	잔여성과지수
	EAC	Estimate At Completion	최종예상공사비
	VAC	Variance At Completion	최종공사비편차

본 연구에서는 분석요소의 공정차이(SV)를 비용의 개념으로 나타낼 것이다.

<표 3> EVMS의 주요 업무 구성¹¹⁾

구 분	내 용	참 고
프로젝트 범위 정의 (Work Scope)	- 프로젝트를 작업분류체계(WBS)를 사용하여 명확하게 분류하고, 작업간의 범위를 정의함 - 작업을 수행할 담당기능조직(OBS)과 연결	WBS SOW OBS
프로젝트 일정계획 (Plan & Schedule)	CPM 방식의 일정관리시스템을 이용 일정계획수립	CPM
프로젝트 예산수립 (Estimate & Budget)	프로젝트에 요구되는 자원수량을 파악하고, 프로젝트 전체 예산을 수립 (견적자료는 변화가 있을 때마다 변경)	CAP
관리기준선작성 (Baseline)	- 각 관리계정을 누적·합산하여 관리기준선 설정 - 관리기준선작성 시 미확정 항목은 실제가 진행됨에 따라 상세내역으로 분개하여 계획하는 단계별 계획기법을 사용	PMB
진도 관리 (Monitoring)	- 공정·비용차이(Schedule & Cost Variance) - 공정·비용지수(Schedule & Cost Performance Index)	CPI SPI
프로젝트 예측 (Forecasting)	- 실적자료(EV data)를 이용 다양하게 최종공사비 예측 - 일정의 증가량을 예측	EAC VAC TCPI

11) 이양호, “MRP기법을 이용한 EVMS의 복합자원·자원계획”, 석사학위논문, 2002

2.3 최종예상공사비(Estimate at Completion)

2.3.1 최종예상공사비의 개요

EV개념 중 가장 중요한 것 중의 하나는 프로젝트 진도가 15%정도에 이르렀을 때부터 프로젝트의 최종예상공사비(EAC)와 일정에 대하여 예측할 수 있다는 것이다. 따라서 이용 가능한 실적자료를 통해서 최종예상공사비를 조기 예측하는 방법에는 두 가지가 있다.

첫째는 구체적인 Bottom-Up(상향식)방식의 성과계획의 실행에 의한 최종예상공사비 추정방법이고, 둘째는 구체적인 프로젝트 계획에 대한 실제 실행성과를 이용하여 최종예상공사비를 예측하는 EAC추정 방법이 있다.(Fleming & Koppelman 2000).

일반적으로 첫 번째 방법에 의한 최종예상공사비 추정은 가장 신뢰성 있는 예측기법으로 평가되지만 시간과 노력이 과다하게 투입되는 단점이 있다. 반면에 두 번째 방법에 의한 통계적 예측은 사업진도를 20%시점부터 오차범위 10%이내에서 매우 정확하다는 것이 증명되어(Singh 1991, Christensen 1993) 현재 많이 선호되고 있다.

EV개념에 의한 프로젝트의 최종의 비용과 일정결과를 예측할 경우 두 가지 실행성과지수가 필요하다. 첫 번째는 비용성과지수(CPI)로서 물리적으로 달성된 값과 진행중인 값 사이의 민감한 관계를 나타낸다. 그리고 두 번째는 공정성과지수(SPI)로서 Baseline Plan에 대하여 달성된 작업을 측정하는 것으로서, 이들 두 가지 지수는 독립적으로 사용될 수 있으며 최종결과를 통계적으로 빠르고 정확하게 예측하기 위하여 함께 사용할 수 있다. EV를 사용하는 프로젝트에 대한 실제 결과들은 항상 비용과 일정에 대한 효율을 모니터하고 실제실행성과에 대한 경향을 반영해야 한다.¹²⁾

EV를 적용하는 프로젝트에서 최종예상공사비를 통계적으로 예측하기 위해 개

12) Quentin W. Fleming, Joel M. Koppelman, "Earned Value Project Management", Project Management Institute, 2000, pp. 127-138

발된 수많은 공식이 있었으나 현재 일반적으로 받아들이는 공식으로는 세 가지가 있으며, 이들 세 가지 공식은 실제적인 최종 값의 범위를 지속적으로 정량화할 수 있으며 또한 최종적인 비용추정의 범위를 통계적으로 예측하기 위하여 프로젝트에 대한 세 가지 변수를 결정해야 한다.

첫째, 일정에 대하여 실제로 투입된 실제비용의 총합이다.

둘째, 잔여작업(WR)의 값을 결정하여야 하는데, 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

WR = BAC - EV	
WR	Work Remaining
BAC	Budget At Completion

셋째, 잔여작업을 누적CPI 혹은 CPI와 SPI를 조합한 값, CPI와 SPI에 적정한 비율로서 조합한 값과 같은 성과효율요인으로 나눈 값을 결정해야 한다. 따라서, 이들 세 가지 변수들은 프로젝트의 최종비용을 통계적으로 예측 가능하다.

2.3.2 EV개념에 의한 데이터 분석

(1) 공정성과지수(Schedule Performance Index : SPI)

공정성과지수(SPI)는 프로젝트가 계획(Planned Value)에 비하여 얼마나 실적(Earned Value)을 얻었는가를 평가하는 지표이다.

$$\text{공정지수}(SPI) = \frac{\text{실적진도}(\text{Earned Value})}{\text{계획공사비}(\text{Planned Value})}$$

(2) 비용성과지수(Cost Performance Index : CPI)

비용성과지수(CPI)는 실제비용(Actual Cost)과 실적진도(Earned Value)를 비교하여 투입한 비용에 대한 비용에 대한 성과효율을 계산한 것이다.

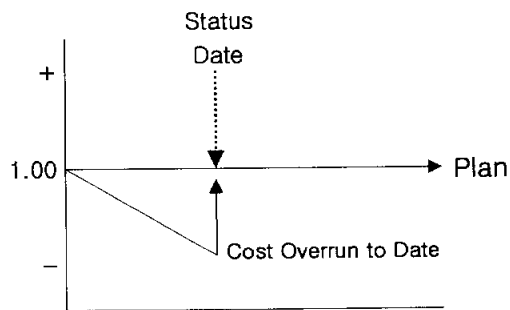
$$\text{비용성과지수}(CPI) = \frac{\text{실적진도}(EarnedValue)}{\text{실투입비용}(ActualCost)}$$

(3) 최종예상공사비(EAC) 예측

① 초과일정(공정)에 대한 정량화 된 EAC 예측은 다음과 같다.

$$EAC = ACWP + \frac{WR(BAC - EV)}{1.0pf} \quad 13)$$

이 경우에 사용된 성과계수(인자) 1.0은 미래에 해야할 모든 일(Work)을 가정하는 의미로서, 전체 예산된 비율에서 정확히 사용되는 것이다. 즉, 이것은 모든 미래작업들이 1.0으로 수립된 예산에서 달성될 것이라는 가정 아래에서이다. 또한 이 공식은 어떤 프로젝트에서든지 최종비용이라 할 수 있는 범위 내에서 가장 낮은 값을 보여준다는 점에서 유용성을 가진다.



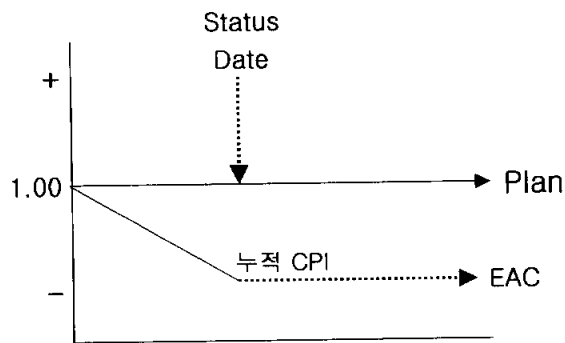
<그림 3> 초과공정에 대한 정량화 된 EAC

13) *pf* : performance factor <성과계수(인자)>

② 가장 보편적인 것으로 누적CPI에 의한 EAC이다 : 낙관적인 예측방법

$$EAC = ACWP + \frac{WR(BAC - EV)}{\text{누적 } CPI_{pf}}$$

누적 성과 Data는 오랜 기간에 의해 예측되기 때문에 값의 변화를 원만하게 해 주는 경향이 있으므로 누적 CPI는 정확하고 신뢰할 수 있는 예측 기법 중의 하나로서 증명되었다.

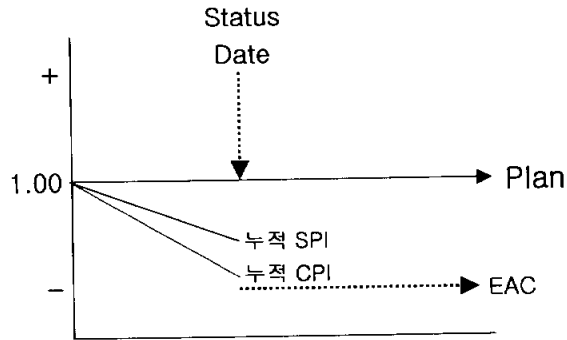


<그림 4> 누적CPI에 의한 EAC

③ 프로젝트의 최종비용을 결정하는 통계적 예측기법으로 CPI와 SPI를 조합시키는 방법이다 : 비관적인 예측방법

$$EAC = ACWP + \frac{WR(BAC - EV)}{\text{누적 } CPI \times SPI_{pf}}$$

이것은 프로젝트에 대하여 일정초과 또는 부가적인 자원들의 사용으로 인하여 CPI에 회복할 수 없는 비용손실을 초래하는 것이다. CPI와 SPI의 조합에 의한 EAC 예측은 가장 널리 사용되는 것 중의 하나이고, 프로젝트에 대하여 비관적인 비용을 예측하도록 한다.



<그림 5> CPI와 SPI의 조합에 의한 EAC

④ 조합 값에 의한 최종예상공사비 예측

예상되는 최종예상공사비는 두 극단적인 상황 안에 존재하게 되므로 비용성과지수와 공정성과지수를 적정한 비율로서 조합하여 최종예상공사비를 추정한다.

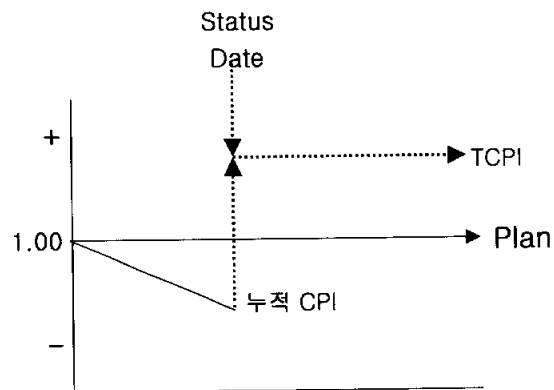
$$\begin{aligned} \text{조합값에 의한 최종예상공사비} &= \text{실투입공사비} + \frac{\text{잔여공사}}{W_1 \text{비용지수} \times W_2 \text{공정지수}} \\ &= ACWP + \frac{WR}{W_1 CPI \times W_2 SPI} \end{aligned}$$

(단, 여기서 가중치 W_1 과 W_2 는 $W_1 + W_2 = 1$ 이다.)

EAC를 예측하기 위한 네 가지 방법 외에도 EV성과 Data를 모니터하기 위해 추가적인 방법이 있다. 이는 잔여성과지수(The To Complete Performance Index : TCPI)로서 프로젝트를 완성하기 위해 남아 있는 작업에 대하여 앞으로 얼마의 비용성과 지수를 가지고 프로젝트를 진행해야 하는 것을 의미한다.

$$TCPI = \frac{\text{잔여공사}}{\text{잔여공사비}(= BAC \text{ or } EAC - AC)}$$

$$= \frac{WR}{FundRemaining}$$



<그림 6> The To Complete Performance Index : TCPI

2.4 비모수검정(Nonparametric Test)

모집단의 분포에 대하여 특정분포를 가정하고, 이 분포에서 미지의 모수에 대한 추론문제를 다루는 방법을 모수적(Parametric)방법이라 한다. 그러나 정규분포는 이론적인 분포로서, 우리가 현실에서 접하는 관측 값이 정확히 정규분포에서 얻어진 경우는 없다. 다만, 모집단의 분포가 정규분포에 가까운 경우에는 중심극한정리에 의하여 얻어진 결과로 추론문제를 다룰 수 있다. 그러나 모집단의 분포가 정규분포와는 거리가 멀거나 데이터들 가운데 이상점(또는 특이점, outlier)이 있는 경우에는 정규이론에 의한 추정 또는 검정법의 효율이 급격히 떨어진다.

어진다.

이와 같이 모집단의 분포에 대하여 구체적인 모수형 분포함수를 가정하는 것이 무리일 때에는 이에 대한 가정을 약화시키는 것이 오히려 오류의 가능성을 줄이고 전체적인 효율도 높일 수 있다.

따라서, 비모수(Nonparametric)는 모집단의 분포를 정규분포 또는 모수에 의해 결정되는 특정분포를 가정하지 않은 추론방식으로 매우 광범위하고 다양한 모집단의 분포에 적용할 수 있는 것으로 모집단의 분포함수에 대하여 모수형의 가정을 하지 않고 통계적 추론을 다루는 방법을 비모수적(Nonparametric) 방법이라 한다. 비모수적 방법에서 흔히 사용하는 모집단에 대한 가정은 연속성과 대칭성이다.

모집단의 분포가 정규분포를 따르고 두 모집단의 편차가 같다는 가정 하에서 모수적 추론방법은 t분포에 기초를 두고 있다. 한편 두 집단 또는 세 집단 이상의 특정 변수에 대한 확률 분포들이 동일한가를 결정하는 방법으로 순위자료를 이용한 분산분석 방법으로 맨-휘트니 검정, 두 표본 콜로고로프-스미르노프 검정, 윌드-윌포비치 검정, 크루스칼-윌리스 검정, 중앙값 검정이 있다.

(1) 맨-휘트니 검정(Mann-Whitney Test)

Mann - Whitney 검정은 Mann과 Whitney가 공동으로 연구해서 발표한 검정 기법인데, Wilcoxon이 독립적으로 발표한 기법과 실제로 동일한 것이어서 Wilcoxon의 순위합 검정이라고도 불린다. Mann - Whitney 검정은 두 개의 표본이 동일한 모집단에서 추출되었는지의 여부를 검정하는 방법으로 자료가 최소한 연속적 서열척도라는 것을 가정하고 있다. 그리고 두 집단의 차이 검정에 있어서 분산의 동질성이나 정규분포를 요구하지 않으므로 일반적인 조건 하에서는 T-검정만큼 통계적 검정력이 있는 방법이다. 표본의 T-검정시 요구되는 기본

가정이 맞지 않아서 거기에서 얻어진 결론이 오류를 범할 가능성이 클 때 이 방법이 특히 유용하다. 그리고 이 방법에서는 윌콕슨 순위합계 검정통계량(W통계량)이 이용되고 있다.

(2) p-value

귀무가설이 맞다는 가정 하에 우리가 구한 값이 나올 수 있는 확률로, p-value는 우리가 설정하는 유의수준 α 보다 작으면 귀무가설을 기각하게 된다. 또는 검정통계량의 관측 값에 대하여 귀무가설 H_0 를 기각할 수 있는 최소의 유의수준을 p-value 또는 유의확률이라 한다.¹⁴⁾

(3) one-tailed test(단측검정 또는 한쪽검정)

검정에서 방향이 정해질 때를 one-tail이라고 하며, 한쪽이 다른 한 쪽 보다 크다고 연구가설을 세울 때 단측검정을 사용한다.¹⁵⁾

14) 허문열, 송문섭, “수리통계학”, 박영사, 1997, p.310

15) 강석복, 오창혁 외 2인, “통계학(원리와 기법)”, 형신출판사, 1997, pp. 285

제 3장 EAC평가방법에 대한 타당성 검증

3.1 EAC를 예측하기 위한 평가방법

본 논문에서 검정하고자하는 EAC 평가방법 여섯 가지 중에서 세 가지는 비용 편차와 비용성과지수와 관련된 것이며, 나머지 세 가지는 공정편차와 공정성과지수에 관련된 것이다. 따라서 여섯 가지의 평가방법에 대하여 국내건설프로젝트를 대상으로 분석하여 그 타당성을 검증하고자한다.

<표 4> 최종예상공사비(EAC) 평가방법

1. 비용편차와 비용성과지수와 관련된 평가방법	1-1 최종비용편차(CV final)는 20%달성시점에서 비용편차(CV20%)보다 나빠지지 않을 것이다. 1-2 누적비용성과지수(cum CPI final)는 20%달성시 점의 누적비용성과지수(cum CPI 20%)에서 0.1이상 변하지 않을 것이다. 1-3 최종누적비용성과지수는 나빠지지 않을 것이다.
2. 공정편차와 공정성과지수와 관련된 평가방법	2-1 최종공정편차(SV final)는 20%달성시점에서 공정편차(SV20%)보다 나빠지지 않을 것이다. 2-2 누적공정성과지수(cum SPI final)는 20%달성시 점에서 누적공정성과지수(cum SPI 20%)에서 0.1이상 변하지 않을 것이다. 2-3 최종누적공정성과지수는 나빠지지 않을 것이다.

3.2 가 설

앞에서 나타낸 EAC의 평가방법을 검증하기 위하여 비용과 공정에 관련하여 H_0 로 표현되는 귀무가설과 H_A 로 표현되는 대립가설을 각각 네 가지로 구분하여 가설을 설정하였다.

<표 5> 비용편차 · 비용성과지수관련 가설설정

비용편차 및 비용성과지수와 관련한 가설	
귀무가설(Null Hypothesis)	대립가설(Alternative Hypothesis)
$H_{10} : CVW_{final} - CVW_{20} \geq 0$ 비용편차는 더 나빠지지 않을 것이다	$H_{1A} : CVW_{final} - CVW_{20} < 0$ 비용편차는 더 나빠질 것이다
$H_{20} : CV\%_{final} - CV\%_{20} \geq 0$ 비용편차비율은 더 나빠지지 않을 것이다	$H_{2A} : CV\%_{final} - CV\%_{20} < 0$ 비용편차비율은 더 나빠질 것이다
$H_{30} : CPI_{final} - CPI_{20} \geq 0.1$ CPI는 0.1이상까지 변할 것이다	$H_{3A} : CPI_{final} - CPI_{20} < 0.1$ CPI는 0.1이상 변하지 않을 것이다
$H_{40} : CPI_{final} - CPI_{20} \geq 0$ 최종 CPI는 더 나빠지지 않을 것이다	$H_{4A} : CPI_{final} - CPI_{20} < 0$ 최종 CPI는 더 나빠질 것이다

<표 6> 공정편차 · 공정성과지수관련 가설설정

공정편차 및 공정성과지수와 관련한 가설	
귀무가설(Null Hypothesis)	대립가설(Alternative Hypothesis)
$H_{50} : SVW_{final} - SVW_{20} \geq 0$ 공정편차는 더 나빠지지 않을 것이다	$H_{5A} : SVW_{final} - SVW_{20} < 0$ 공정편차는 더 나빠질 것이다
$H_{60} : SV\%_{final} - SV\%_{20} \geq 0$ 공정편차비율은 더 나빠지지 않을 것이다	$H_{6A} : SV\%_{final} - SV\%_{20} < 0$ 공정편차비율은 더 나빠질 것이다
$H_{70} : SPI_{final} - SPI_{20} \geq 0.1$ SPI는 0.1이상까지 변할 것이다	$H_{7A} : SPI_{final} - SPI_{20} < 0.1$ SPI는 0.1이상 변하지 않을 것이다
$H_{80} : SPI_{final} - SPI_{20} \geq 0$ 최종 SPI는 더 나빠지지 않을 것이다	$H_{8A} : SPI_{final} - SPI_{20} < 0$ 최종 SPI는 더 나빠질 것이다

최종예상공사비를 평가하는 첫 번째 방법은 비용편차와 공정편차¹⁶⁾와 관계한 것으로서 금액과 비율로서 나타낸다. 비용편차는 실행된 작업의 비용 실적과 실행된 작업의 실제 비용(Actual Cost)사이에서의 차이처럼 정의되었다. 공정편차는 실행된 작업의 비용실적과 실행할 작업의 계획 비용사이에서의 차이처럼 정의되었다. 그리고 비용편차의 비율은 비용편차를 실적으로 나눈 것이며, 공정편차의 비율은 공정편차를 실적으로 나눈 것이다.

16) 여기서 공정편차는 비용의 개념으로 나타낸다.

비용편차(CVW) = 실적공사비($EarnedValue$) - 실투입비용($ActualCost$)

공정편차(SVW) = 실적($EarnedValue$) - 계획공사비($PlannedValue$)

$$\text{비용편차의비율}(CV\%) = \left(\frac{CVW}{EV} \right) \times 100$$

$$\text{공정편차의비율}(SV\%) = \left(\frac{SVW}{EV} \right) \times 100$$

최종예상공사비를 평가하는 두 번째 방법은 누적비용성과지수와 누적공정성과지수에 관계하는 것으로 비용성과지수가 1이하이면 비용편차가 커지므로 비용초과 상태를 나타내며, 누적공정성과지수가 1이하이면 공정편차가 커져서 공정지연상태를 나타낸다.

누적비용성과지수와 누적공정성과지수의 안정성과 관련된 가설3과 7은 누적비용성과지수와 누적공정성과지수가 사업진도율 20%시점부터 평균값에서부터 0.1 이상까지 변하지 않았고 앞으로 일어날 일에서 산출된 비용효율 또는 공정효율 측면에서 그 타당성을 평가하는데 사용될 수 있다.

누적비용성과지수가 더 나빠진다는 가설4는 사업진도율 20%시점의 누적비용성과지수가 최종시점에서 비용성과지수보다 더 크면 그때 비용편차는 더 나빠진다. 그러므로 누적비용성과지수는 적정수준의 최종예상공사비를 결정하기 위하여 자주 사용되는 것으로 이를 낙관적인 예측이라고 한다.

3.3 대상 프로젝트의 가설검정

3.3.1 대상 프로젝트

여섯 가지 평가방법의 타당성을 검증하기 위하여 8가지 가설이 세워졌다. 그리고 5개의 프로젝트를 대상으로 20%달성 시점에서와 80%달성시점이 경과한 후의 누적기성(EV), 누적실제비용(Actual Cost) 등에 대한 값을 분석하였다. 대부분의 도급자들은 사업진도를 80%달성시점부터는 비용보고를 그만두는 경우가 많으므로 20%달성시점동안에 대하여 17.5%~22.5%내의 실행 자료를 대상 프로젝트로 선택하였다. 본 연구에서는 많은 프로젝트를 대상으로 분석을 시도하였으나 비용 보고에 대한 자료부족과 자료가 체계적으로 축적되지 못하여 5개의 프로젝트를 대상으로 이루어졌으며, 정보공개상의 문제로 인하여 각 프로젝트의 철근콘크리트공사(RC 골조공사)를 대상으로 가설검정을 수행하였다. 대상 프로젝트들은 모두 건축공사로서 프로젝트 D와E를 제외한 A, B, C는 모두 아파트 공사이며 민간공사이다. 그리고 프로젝트D와E는 건축공사이고 역시 민간공사다. 본 연구의 대상 프로젝트는 중·소규모의 건축공사와 아파트공사를 프로젝트 사례 대상으로 하였으며, 중·소규모의 건축공사는 data분석 시간이 비교적 적게 소요되고, 아파트공사의 경우는 그 특성상 설계, 시공순서, 자원투입형태가 거의 동일하고 반복적이므로 EVMS를 이용한 관리체계 수립이 용이하다. 즉, 성과분석이 정확하게 이루어지므로 최종예산공사비를 정확하게 예측 가능하다.¹⁷⁾ 프로젝트에 대한 개요는 <표 7>에서 나타낸다.

프로젝트들의 범위정의를 위하여 설계도서, 수량산출기준서와 통합정보분류체계를 이용하여 Top-Down형태로 작업을 분개하여 작업분류체계(WBS)를 작성하였다. 그리고 프로젝트의 원가보고서를 바탕으로 수립된 예산을 작업분류체계와 연계하여 Work Package수준까지 분류하여 최하수준의 단위작업에 예산이 반영되게 하여, 각 단위작업의 진도율을 파악함으로써 EV측정이 이루어지도록 하였

17) 이양호, “MRP기법을 이용한 EVMS의 복합작업·자원계획”, 석사학위논문, 2002, p.41

다.

<표 7> 조사대상 프로젝트의 개요

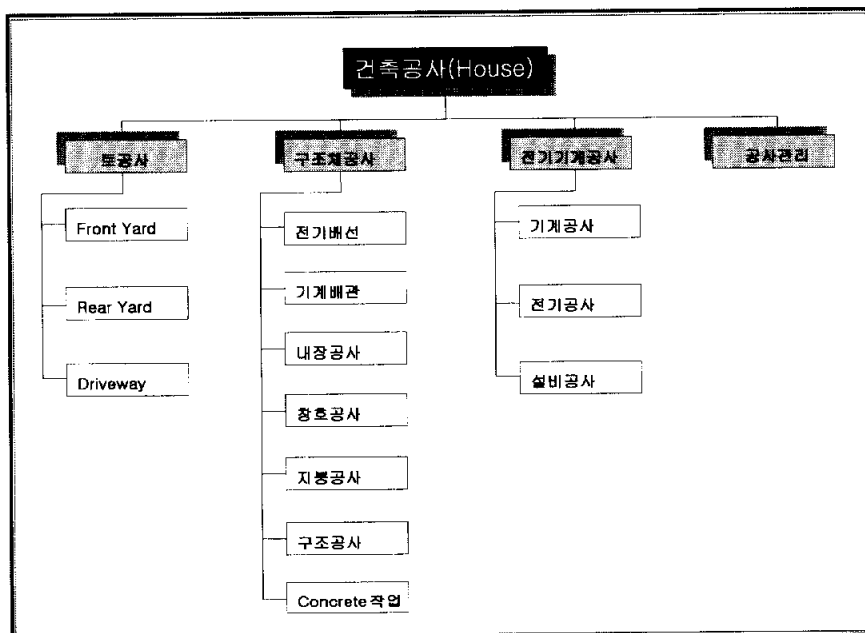
프로젝트	공 종	총 공사금액	철근콘크리트 금액	공사기간
A	아파트	55,041,136,545	7,362,499,483	2000.06~2002.12
B	아파트	80,533,629,356	10,943,347,915	96.06~99.07
C	아파트	34,518,500,617	4,617,402,114	94.02~96.05
D	건축	30,005,718,519	3,976,215,961	95.01~97.02
E	건축	8,412,710,210	1,199,707,868	98.07~2000.06

3.3.2 프로젝트의 데이터 분석 방법

가설검정이전에 프로젝트들에 대한 데이터 분석이 필요하다. 즉, 프로젝트의 EV 자료 분석을 위하여 프로젝트들을 EVM기법에 따라 재작성 할 필요가 있으며, 이를 위하여 수량산출기준을 참고하여 작업분류체계(WBS)를 작성한다. 그리고 분류된 작업을 바탕으로 수량산출기준에 의하여 산정 된 투입자원의 계획수량을 입력하고 그 이후에 프로젝트가 진행됨에 따라서 자원의 값을 입력하여 계획하고 실 투입량을 반영하게 된다. 다음으로 계획비용(Planed Value) 및 실 투입공사비(Actual Cost)를 산정하기 위하여 산정하기 위하여 수량단위로 산출된 자원들을 인력(Labor), 자재(Materials), 장비(Equipment)의 세 항목으로 구분하여 단가와 곱하여 산출하고, 월간(또는 주간)단위로 이루어진 보고서를 공정율에 따라 작성하여 누적EV를 얻을 수 있다. 5개의 대상프로젝트 중에서 프로젝트A의 분석과정을 나타내고자 한다.

프로젝트 A는 2000년 2월에 착공하여 2002년 12월에 완공예정인 748세대 중규모 아파트공사현장이다. 총 공사금액이 550억원으로, 현재 마무리 공사중이다.

먼저, 일반적인 건축공사의 작업분류체계와 수량산출기준서를 참고로 하는 주상복합건축물공사의 작업분류체계를 조사하고 프로젝트 A에 대한 작업분류체계를 작성한다. 일반적인 건축공사의 작업분류체계는 <그림 7>에서 나타내었으며, 수량산출기준서는 <표 8>에서 나타내었다. <그림 8>은 주상복합건축물공사의 WBS를 나타내며, 프로젝트의 A의 WBS는 <그림 9>에서 나타내었다.

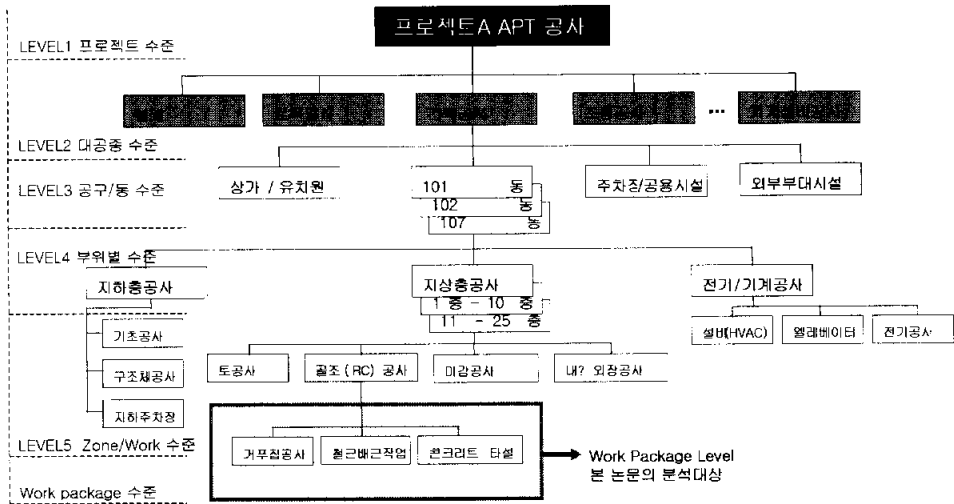


<그림 7> 일반적인 건축공사의 작업분류체계(WBS)

<표 8> 수량산출기준을 참고로 작성한 공종분류코드의 예¹⁸⁾

프로젝트 (LEVEL0)	대공종분류 (LEVELⅡ)	중공종분류 (LEVELⅢ)	Work Package (LEVELⅣ)
주상복합건물 건축공사	가설공사(TE)	A 공통공사	A
	토 공 사(EX)	B 토 공 사	100 현장개설 및 가설공사
	구조공사(ST)	C 기초 및 지성 공사	B
	마감공사(FI)	D 철근콘크리트공사	100 터파기
	내·외장공사(IN)	E 철골공사	110 흙막이공사
	기계설비공사(ME)	F 조적공사	120 파일공사
		G 비장공사	130 앵커설치
		H 방수공사	C
		I 지붕 및 홍동공사	100 기초공사
		J 타월 및 돌공사	D
		K 도장공사	100 거푸집공사
		L 수장공사	110 철근및보강제공사
		M 급속공사	120 콘크리트타설
		N 창호 및 유리공사	E
		O 배관공사	100 철근현장세우기
		P 타트공사	110 테크플레이트설치
		Q 위생설비공사	120 철근내화피복(습식)
		R 공기조화설비공사	F
		S 운송설비공사	100 시멘트클록공사
		T 소방설비공사	110 조적부대공사
		U 서비스설비공사	G
		V 전기공사	100 시멘트모르타르 바름
		W 부대토목공사	110 바닥 히팅시스템
		X 조정공사	120 모래 및 자갈 채우기
		Y 해체 및 철거공사	II
		Z 잡공사	100 시멘트액체방수
			110 아스팔트 방수
			120 방수보호제
			130 방습공사

18) 건설교통부, “건축공사·기계설비공사 수량산출기준”, 2000.



<그림 9> 프로젝트A의 작업분류체계(WBS)

앞에서 프로젝트A의 작업의 범위를 정의하기 위하여 작업분류체계(WBS)를 작성하였다. 다음은 작업에 자원을 투입하여 공정을 14.2%, 20%, 34.2%, 43.5%, 55%, 65%, 80% 일 때의 누적공사실적분석을 수행하였다. 아래의 표에 프로젝트 A의 건축골조공사 중 RC조 공사에 대한 누적공사실적분석이 나타나 있다.

<표 9> 공정을 14.2%일 때의 실적분석

Time Work Package		공정을 14.2%일때 철근콘크리트 공사실적						
		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩545,145	₩486,736	₩546,500	0.890	0.893	-₩59,764	-₩58,409
	철근 및 보강재공사	₩221,430,054	₩191,548,490	₩243,733,093	0.786	0.865	-₩52,164,603	-₩29,881,564
	콘크리트 공사	₩94,401,735	₩93,374,614	₩94,636,400	0.987	0.989	-₩1,261,786	-₩1,027,121
	RC부대공사	₩0	₩0	₩0	0.000	0.000	₩0	₩0
	소 계	₩316,376,934	₩285,409,640	₩338,915,993	0.842	0.902	-₩53,506,153	-₩30,967,094

<표 10> 공정을 20%일 때의 실적분석

Time Work Package		공정을 20%일때 철근콘크리트 공사실적						
		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩4,251,350	₩3,926,070	₩4,399,000	0.893	0.924	-₩470,930	-₩323,280
	철근 및 보강재공사	₩289,042,180	₩263,317,426	₩303,758,879	0.867	0.911	-₩40,441,453	-₩25,724,754
	콘크리트 공사	₩119,031,642	₩113,725,742	₩103,617,900	1.098	0.955	₩10,107,842	-₩5,305,900
	RC부대공사	₩0	₩0	₩0	0.000	0.000	₩0	₩0
	소 계	₩412,325,172	₩380,971,238	₩411,775,779	0.925	0.924	-₩30,804,541	-₩31,353,934

공정을 14.2%일 때는 비용성과지수(CPI)는 0.842이며 공정성과지수(SPI)는 0.902로 투입공사비에 비하여 실적이 매우 낮고, 또한 계획진도에 맞추지 못하고 있다. 그러나 공정을 20%때에는 CPI가 0.925이고 SPI가 0.924로서 비용성과지수 및 공정성과지수가 더 이상 나빠지지 않았다. <표 9>와 <표 10>을 참고하십시오.

<표 11> 공정을 34.2%일 때의 실적분석

Work Package \ Time		공정율 34.2%일때 철근콘크리트 공사실적						
		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩242,232,542	₩225,963,193	₩235,865,602	0.958	0.933	-₩9,922,409	-₩16,269,349
	철근 및 보강재공사	₩684,050,643	₩637,928,420	₩700,648,259	0.893	0.933	-₩62,719,839	-₩46,122,223
	콘크리트 공사	₩323,788,858	₩297,436,026	₩386,777,900	0.769	0.919	-₩69,341,874	-₩26,352,832
	RC부대공사	₩25,384,800	₩19,451,954	₩16,731,000	1.163	0.767	₩2,720,954	-₩5,932,846
	소 계	₩1,275,456,843	₩1,180,779,593	₩1,340,042,761	0.881	0.926	-₩159,263,168	-₩94,677,250

<표 12> 공정을 43.5%일 때의 실적분석

Work Package \ Time		공정율 43.5%일때 철근콘크리트 공사실적						
		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩1,353,614,018	₩1,279,408,335	₩1,301,663,590	0.983	0.945	-₩4,255,245	-₩74,205,683
	철근 및 보강재공사	₩1,201,722,116	₩1,135,843,210	₩1,550,476,510	0.733	0.945	-₩414,633,300	-₩65,878,906
	콘크리트 공사	₩908,533,503	₩834,564,110	₩1,192,263,100	0.700	0.919	-₩957,698,990	-₩73,969,393
	RC부대공사	₩143,986,095	₩110,334,172	₩83,545,000	1.321	0.766	₩26,789,172	-₩33,651,923
	소 계	₩3,607,855,732	₩3,360,149,827	₩4,127,948,190	0.814	0.931	-₩767,798,363	-₩247,705,905

공정율 34.2%와 43.5%일 때의 공사실적분석을 살펴보면 비용성과지수가 점점 낮아졌다. 즉 투입공사비에 비하여 얻어진 실적이 매우 낮다는 것을 알 수 있다. 이에 반하여 공정성과지수는 계획진도에 맞추지는 못하지만 지연된 공정을 만회하고 있다. <표 11>과 <표 12>를 참고하시오. 그 외의 공정율에 따른 공사 실적분석이 <표 13>, <표 14> 그리고 <표 15>에 나타나 있다.

<표 13> 공정을 55%일 때의 실적분석

Time Work Package		공정율55%일때 철근콘크리트 공사실적						
		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩2,301,158,410	₩2,176,653,812	₩2,299,119,212	0.947	0.946	-₩122,465,400	-₩124,504,598
	철근 및 보강재공사	₩2,001,252,577	₩1,891,721,880	₩2,156,273,112	0.877	0.945	-₩1,874,551,232	-₩109,530,697
	콘크리트 공사	₩2,113,426,321	₩1,821,919,242	₩1,842,567,100	0.869	0.862	-₩20,647,858	-₩291,507,079
	RC부대공사	₩147,671,663	₩122,548,098	₩141,052,000	0.869	0.830	-₩18,502,902	-₩25,122,565
	소 계	₩6,563,508,971	₩5,012,844,032	₩6,439,011,424	0.934	0.916	-₩426,167,392	-₩550,664,939

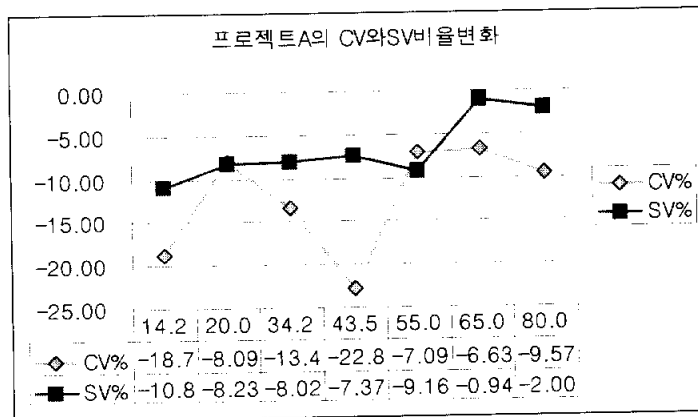
<표 14> 공정을 65%일 때의 실적분석

Time Work Package		공정율65%일때 철근콘크리트 공사실적						
		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩2,896,079,364	₩2,896,108,325	₩2,901,456,216	0.998	1.000	-₩5,347,891	₩28,961
	철근 및 보강재공사	₩2,011,129,202	₩1,961,891,375	₩2,339,793,898	0.839	0.975	-₩377,902,323	-₩49,237,827
	콘크리트 공사	₩2,147,921,503	₩2,137,235,326	₩2,227,294,700	0.960	0.995	-₩90,059,374	-₩10,686,177
	RC부대공사	₩156,484,491	₩148,574,165	₩150,227,000	0.996	0.956	-₩652,835	-₩6,910,326
	소 계	₩7,211,614,560	₩7,144,809,191	₩7,618,771,614	0.938	0.991	-₩473,962,423	-₩66,805,369

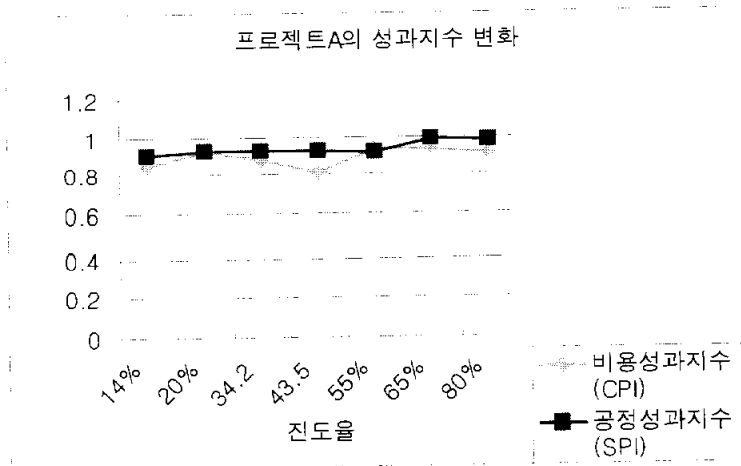
<표 15> 공정을 80%일 때의 실적분석

Time Work Package		공정율80%일때 철근콘크리트 공사실적						
		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩3,006,258,755	₩2,834,379,803	₩3,008,340,452	1.000	0.943	-₩171,960,649	-₩171,878,952
	철근 및 보강재공사	₩2,051,392,178	₩2,209,480,537	₩2,362,033,688	0.935	1.077	₩152,553,161	₩158,088,359
	콘크리트 공사	₩2,050,155,100	₩1,973,398,190	₩2,267,192,500	0.870	0.963	-₩283,794,310	-₩76,756,910
	RC부대공사	₩166,995,410	₩114,899,747	₩179,344,330	0.641	0.688	-₩64,444,583	-₩52,095,663
	소 계	₩7,274,801,443	₩7,132,158,277	₩7,814,910,930	0.913	0.980	-₩682,752,703	-₩142,643,166

사업진도율에 의한 프로젝트 A의 건축골조공사 중 R.C조의 누적공사실적분석을 통하여 비용편차와 공정편차 및 비용성과지수와 공정성과지수에 대하여 비교·분석하였다. <그림 10>과 <그림 11>에서 비용·공정편차 비율 및 성과지수에 대한 비교현황을 나타내고 있다.



<그림 10> 프로젝트 A의 CV·SV비율의 변화

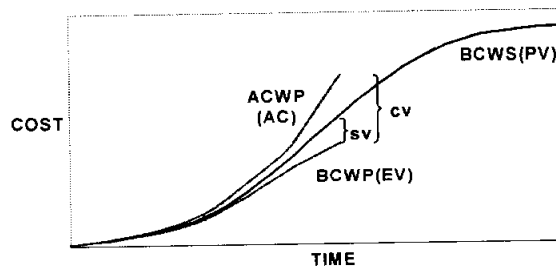
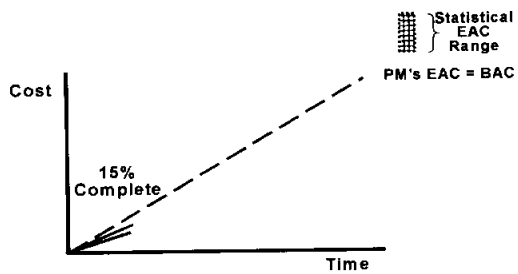
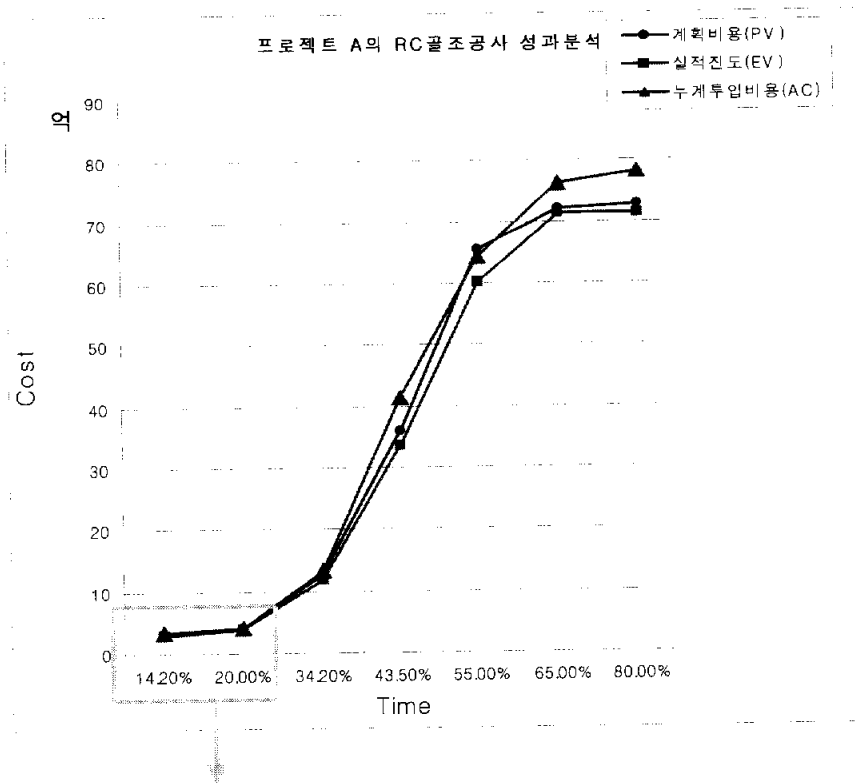


<그림 11> 프로젝트 A의 성과지수의 변화

사업진도율에 따른 비용편차와 공정편차의 비율과 성과지수를 비교한 결과에 따르면 비용편차는 공정을 43.5%까지 편차의 비율변화가 크게 증가하여 비용편차가 나빠지고, 이후 비용편차의 비율변화가 감소하지만 최종시점에서는 비용편차가 나빠진다는 것을 알 수 있다. 이에 반하여 공정편차의 비율은 비용편차와는 달리 비율의 변화가 크지 않고, 또한 공정편차의 비율이 감소 추세(Trend)를 보이고 있다. 또한 <그림 11>은 프로젝트A의 건축골조공사 중 RC조에 대한 비용 성과지수(CPI)와 공정성과지수(SPI)를 사업진도율에 따라 나타낸 결과이다.

이 결과는 공정성과지수가 비용성과지수에 비하여 증감의 변화정도가 적으므로 비용성과지수보다 더 안정적임을 알 수 있다.

다음은 프로젝트A의 건축골조공사 중 R.C조의 진행관리(Monitoring)를 위하여 비용차이, 공정차이, 비용성과지수 및 공정성과지수에 대한 EVMS 성과분석을 하였다.



<그림 12> 프로젝트A의 EVMS 성과분석

<그림 12>의 EVMS성과분석 그래프에서 두 번째 그래프는 프로젝트의 작업이 15%~20% 완성된 시점을 나타내는 것으로, 실행성과가 Schedule Plan에 지연되었고, 작업달성을 위해 견적된 예산보다 더 많은 비용이 투입되고 있음을 나타내고 있다. 세 번째 그래프는 프로젝트A 성과분석 그래프의 계획비용(PV), 실적(EV), 실제 투입비용(AC)과 비용편차(CV), 공정편차(SV)를 나타내고 있다. 그 외의 프로젝트 B, C, D, E에 대하여는 공정을 20%일 때와 80%일 때의 PV, EV, AC그리고 비용편차 및 공정편차에 대하여 <표 16>에서 나타내었다.

<표 16> 프로젝트별 실적분석

	공정율	PV(₩)	EV(₩)	AC(₩)	CV(₩)	SV(₩)
프로젝트 B	20%	679,183,734	660,279,920	692,843,568	-32,563,648	-18,903,814
	80%	10,725,027,117	10,189,592,381	11,296,665,616	-1,107,073,230	-535,434,736
프로젝트 C	20%	289,310,909	267,612,591	288,065,222	-20,452,631	-21,698,318
	80%	4,571,232,664	4,353,554,918	4,875,201,476	-521,646,558	-217,677,746
프로젝트 D	20%	235,977,208	207,726,416	218,889,796	-11,163,380	-28,250,792
	80%	3,896,340,971	3,577,907,228	3,997,661,707	-419,754,479	-318,433,743
프로젝트 E	20%	76,658,638	72,519,071	76,335,864	-3,816,793	-4,139,567
	80%	1,118,674,162	1,096,739,375	1,169,231,743	-72,492,368	-21,934,787

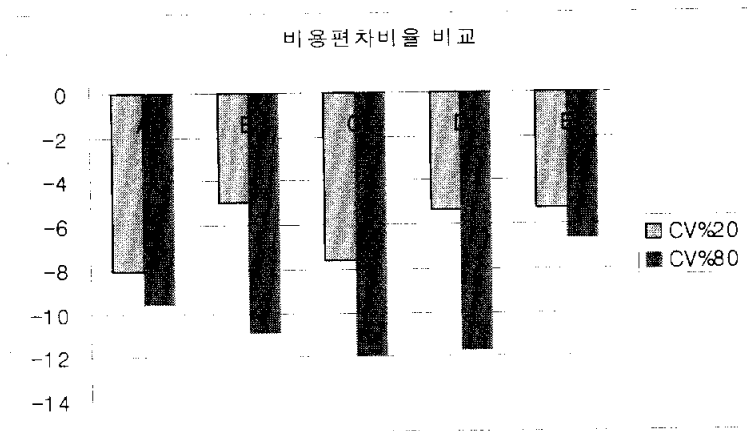
가설검정을 수행하기 이전에 각각의 프로젝트들에 대하여 사업진도율 20%일 때와 80%일 때의 비용편차비율과 공정편차비율 그리고 비용성과지수와 공정성과지수를 비교하였다. <표 17>과 <표 18>에서 비율을 나타내었고, <그림 13>과 <그림 14>에서는 서로 비교한 것을 그래프로 나타내었다.

<표 17> 비용편차의 비율

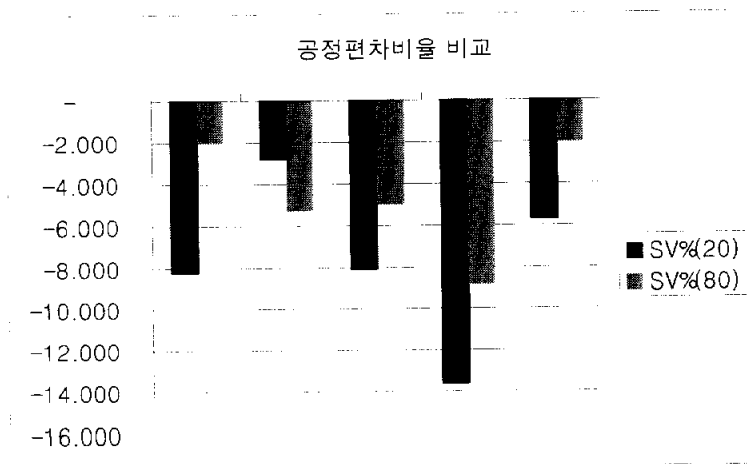
프로젝트	CV%(20)	CV%(80)
A	-8.09	-9.54
B	-4.93	-10.86
C	-7.64	-11.98
D	-5.37	-11.73
E	-5.26	-6.61

<표 18> 공정편차의 비율 비교

프로젝트	SV%(20)	SV%(80)
A	- 8.230	- 2.000
B	- 2.863	- 5.254
C	- 8.108	- 5.000
D	- 13.599	- 8.890
E	- 5.710	- 2.000

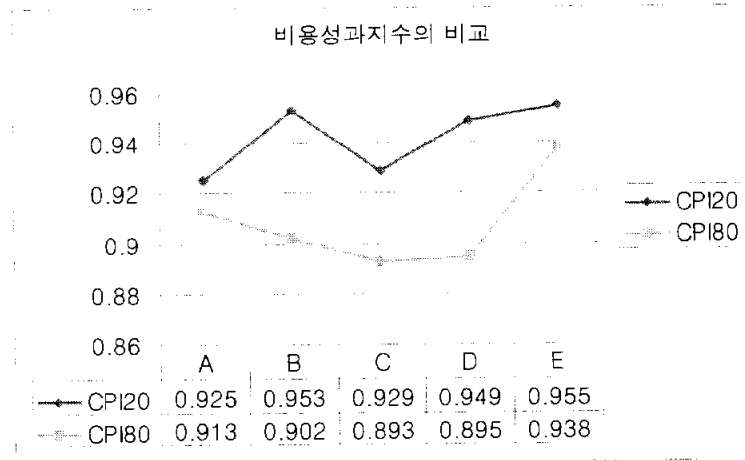


<그림 13> 비용편차의 비율 비교

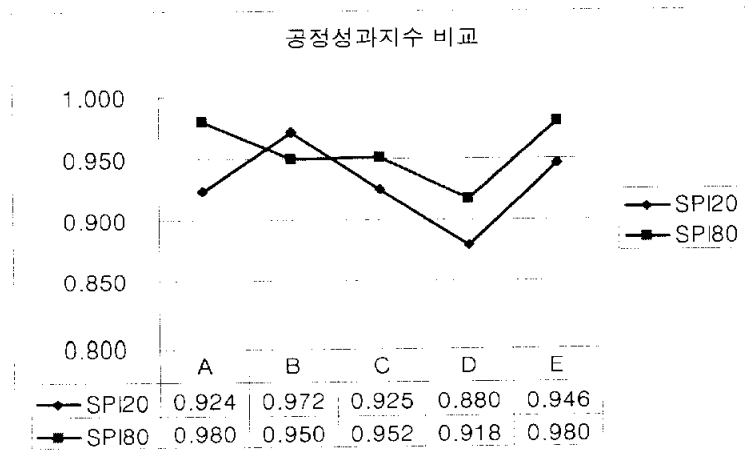


<그림 14> 공정편차의 비율 비교

비교한 결과 비용편차의 비율은 20%시점보다 80%시점에서 비용편차의 비율이 더 나빠진다는 것을 알 수 있다. 그러나 공정편차의 경우는 80%시점이 20%시점에서 보다 비율이 전체적으로 감소하는 경향을 보이고 있다.



<그림 15> 비용성과지수의 비교



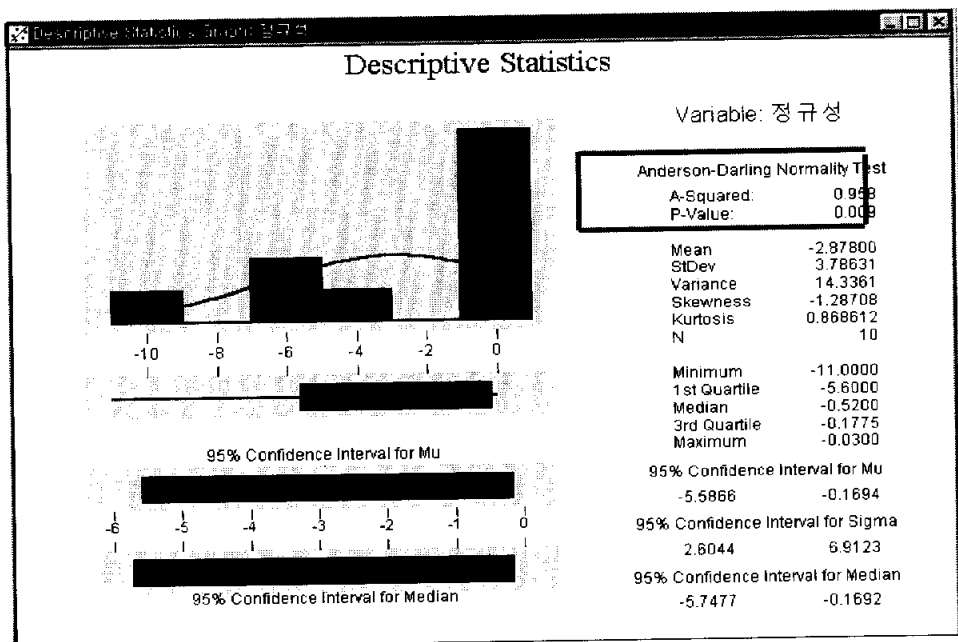
<그림 16> 공정성과지수의 비교

CPI와 SPI의 경향(Trend)도 비용편차와 공정편차와 마찬가지로 알 수 있다. 즉, 각각의 프로젝트들의 CPI가 20%시점에서보다 80%시점에서 더 감소하는 추세이므로 CPI가 나빠지고 있음을 알 수 있으며, SPI는 80%시점이 20%시점보다 더 증가하여 더 이상 SPI가 나빠지지 않음을 알 수 있다. <그림 15>와 <그림 16>에서 나타내고 있다.

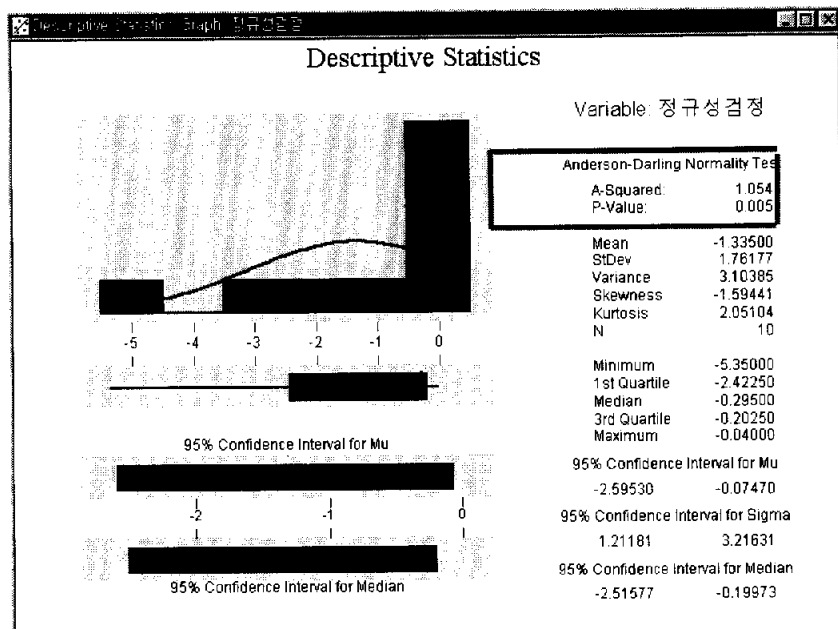
3.3.3 가설검정(Hypothesis testing)

분석 작업한 데이터는 Minitab을 이용하여 통계처리 하였다. 통계분석 방법은 비용편차와 비용성과지수, 공정편차와 공정성과지수를 설명하기 위해 평균(Mean), 표준편차(St Dev), 표준오차평균(SE Mean)을 구했으며 사업진도를 20% 경과시점과 80%경과시점에서 비용편차(CV), 비용편차에 대한 비율(CV%), 비용성과지수(CPI) 그리고 공정편차(SV), 공정편차에 대한 비율(SV%), 공정성과지수를 값으로 얻어진 관측 값을 대응표본(paired sample)이라 하고 대응표본을 이용하여 위치모수의 차에 관한 추론문제를 다루는 대응비교를 이용하였으며 각각에 대하여 정규성 검토를 하였으나 <그림 17>와 <그림 18>에 나타난 것과 같이 비용편차와 공정편차의 경우 정규분포를 따르지 않아 비모수 검정 방법을 사용하여 최종시점과 20%달성시점의 비용편차의 차이, 비용성과지수의 차이 그리고 공정편차의 차이, 공정성과지수의 차이를 분석하였다.

본 연구에서 가설 검정을 위한 유의수준 α 는 0.05로 하였다.



<그림 17> 비용편차의 정규성 검증19)



<그림 18> 공정편차의 정규성 검증

3.3.4 가설검정 결과

최종예상공사비를 보다 정확하게 평가하기 위하여 앞장에서 제안된 여섯 가지 제안된 평가방법들에 대하여 가설검정을 통하여 확인이 되었다. 비용관련과 공정 관련에 대한 결과는 다음과 같다.

(1) 비용관련 가설검정 결과

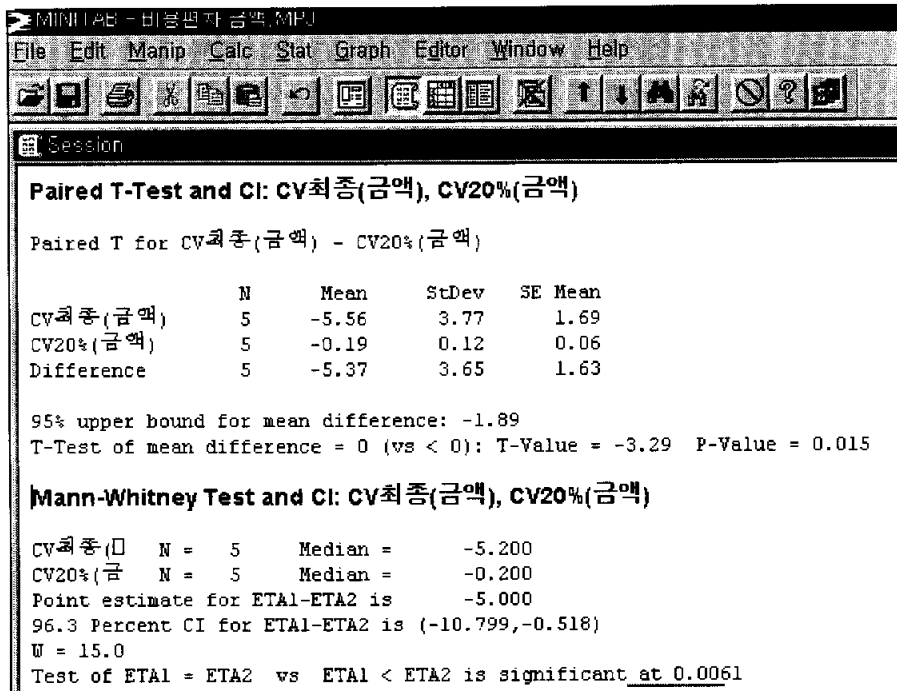
최종 비용편차(금액과 비율)의 평균과 최종 비용성과지수의 평균은 20%달성시점에서 그것들의 평균값보다 유의하므로 더 나빠졌으므로 귀무가설 1,2와 4는 기각되었다.

<그림 19>에서 프로젝트들의 최종 비용편차(CV final)의 평균은 -₩5.56억원 이고, 20%달성시점(CV 20)에서 비용편차의 평균은 -₩0.19억원이다. -₩5.37억원의 비용편차의 평균은 통계적으로 유의하다. (one-tailed $p < 0.0061$)

19) QUART교수그룹, “6시그마를 위한 기초통계 및 MINITAB 사용법”, KSA한국표준협회 식스시그마 아카데미

$H_{10} : CVW_{final} - CVW_{20} \geq 0 \Rightarrow$ 비용편차는 더 나빠지지 않을 것이다

$H_{1A} : CVW_{final} - CVW_{20} < 0 \Rightarrow$ 비용편차는 더 나빠질 것이다

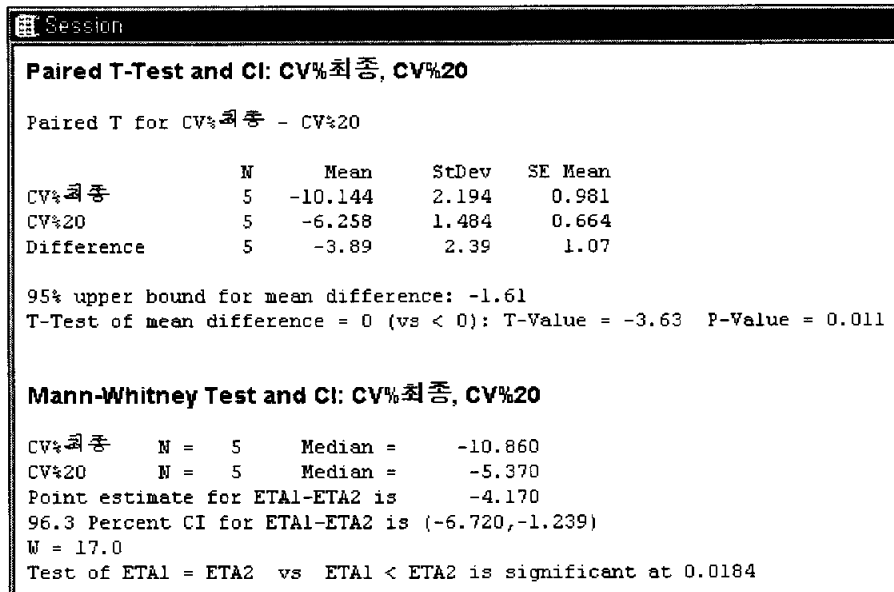


<그림 19> 미니탭을 이용한 비용편차(금액)의 검정결과

그러나 금액으로 나타낸 비용편차의 경우는 계약규모와 인플레이션이 고려되지 않았으므로 귀무가설이 기각되었지만 대립가설이 채택되지 않는다. 따라서 가설2에서 비용편차를 비율로서 나타내어 검정하였다. 그 결과 <그림 20>에서 최종 비용편차의 평균은 -10.14이고, 20%달성시점에서 비용편차의 평균은 -6.25이다. -3.89의 비용편차 평균은 통계적으로 유의하므로 비용편차는 나빠진다 (one-tailed $p < 0.0184$).

$H_{20} : CV\% \text{ final} - CV\%20 \geq 0 \Rightarrow$ 비용편차비율은 더 나빠지지 않을 것이다

$H_{2A} : CV\% \text{ final} - CV\%20 < 0 \Rightarrow$ 비용편차비율은 더 나빠질 것이다

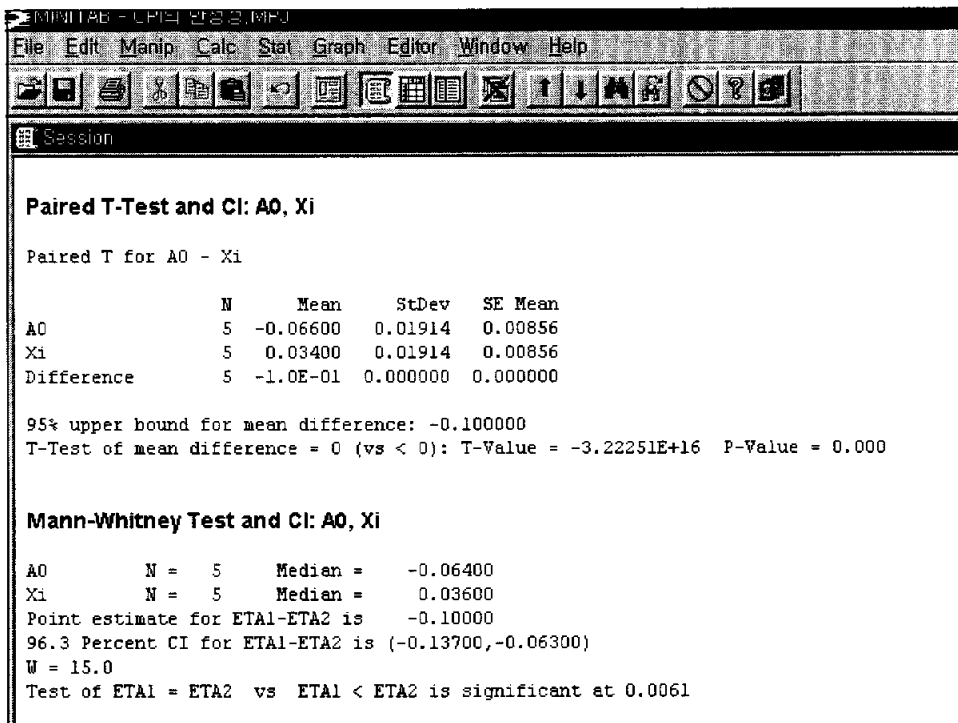


<그림 20> 미니탭을 이용한 비용편차(비율)의 검정결과

<그림 21>은 가설 3의 경우로서 귀무가설이 기각되었다. 따라서 누적비용성과 지수는 20%달성시점에서부터 누적비용성과지수의 값이 0.1이상 변하지 않았으며, 이는 누적 비용성과지수의 안정성을 나타내는 것으로 누적 비용성과지수의 평균 절대편차가 0.10이하로 유의하다(one-tailed $p < 0.0061$). 이때 X_i 는 최종시점의 누적비용성과지수와 20%달성시점의 누적비용성과지수 차의 절대값으로 누적비용성과지수의 평균절대편차를 나타낸 것이며, A_0 는 누적비용성과지수의 평균절대편차가 0.1이상차이를 보이는가를 알기 위한 것으로 이 두 가지의 차이 값이다.

H3o : $| \text{CPI final} - \text{CPI20} | \geq 0.1 \Rightarrow \text{CPI는 0.1이상까지 변할 것이다}$

H3A : $| \text{CPI final} - \text{CPI20} | < 0.1 \Rightarrow \text{CPI는 0.1이상까지 변하지 않을 것이다}$



<그림 21> 미니탭을 이용한 비용성과지수 안정성의 검정결과

$$X_i = | \text{CP}80\% - \text{CP}20\% | \quad A_o = X_i - 0.1$$

<그림 22>에서는 최종 누적성과지수의 평균이 0.908이고 20%달성시점에서 누적비용성과지수의 평균은 0.942이다. -0.034의 최종 비용성과지수와 20%시점에서의 비용성과지수의 평균 차이 역시 유의하다(one-tailed $p < 0.0184$). 따라서 비용성과지수는 더 나빠졌다.

$H_{40} : \text{CPI final} - \text{CPI 20} \geq 0 \Rightarrow$ 최종 CPI는 더 나빠지지 않을 것이다

$H_{4A} : \text{CPI final} - \text{CPI 20} < 0 \Rightarrow$ 최종 CPI는 더 나빠질 것이다

Paired T-Test and CI: CPI최종, CPI20

Paired T for CPI최종 - CPI20

	N	Mean	StDev	SE Mean
CPI최종	5	0.90820	0.01840	0.00823
CPI20	5	0.94220	0.01411	0.00631
Difference	5	-0.03400	0.01914	0.00856

95% upper bound for mean difference: -0.01575

T-Test of mean difference = 0 (vs < 0): T-Value = -3.97 P-Value = 0.008

Mann-Whitney Test and CI: CPI최종, CPI20

CPI최종 N = 5 Median = 0.90200
CPI20 N = 5 Median = 0.94900
Point estimate for ETA1-ETA2 is -0.03600
96.3 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0.05999,-0.01100)
W = 17.0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 < ETA2 is significant at 0.0184

<그림 22> 미니탭을 이용한 비용성과지수의 검정결과

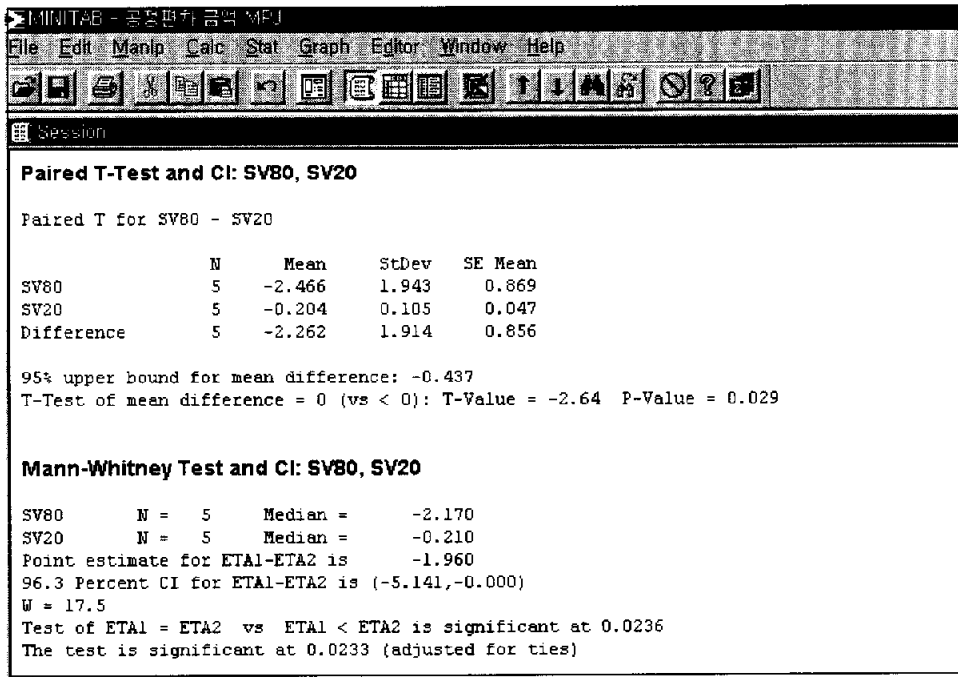
(2) 공정관련 가설검정 결과

공정편차와 공정성과지수의 가설검정 결과는 비용편차와 비용성과지수의 가설검정의 결과와는 차이가 있다.

먼저 최종 공정편차의 비용측면에서의 검정결과는 비용편차와 같이 귀무가설이 기각되었다. 최종 공정편차의 평균은 20%달성시점에서 평균값보다 유의하드로 더 나빠졌고, <그림 23>에서 프로젝트들의 최종 공정편차(SV final)의 평균은 -₩2.46억원이고, 20%달성시점(SV 20)에서 공정편차의 평균은 -₩0.20억원이다. -₩2.26억원의 공정편차의 평균은 통계적으로 유의하다.(one-tailed $p < 0.0233$)

$H_{50} : SVW \text{ final} - SVW_{20} \geq 0 \Rightarrow$ 공정편차는 더 나빠지지 않을 것이다

$H_{5A} : SVW \text{ final} - SVW_{20} < 0 \Rightarrow$ 공정편차는 더 나빠질 것이다

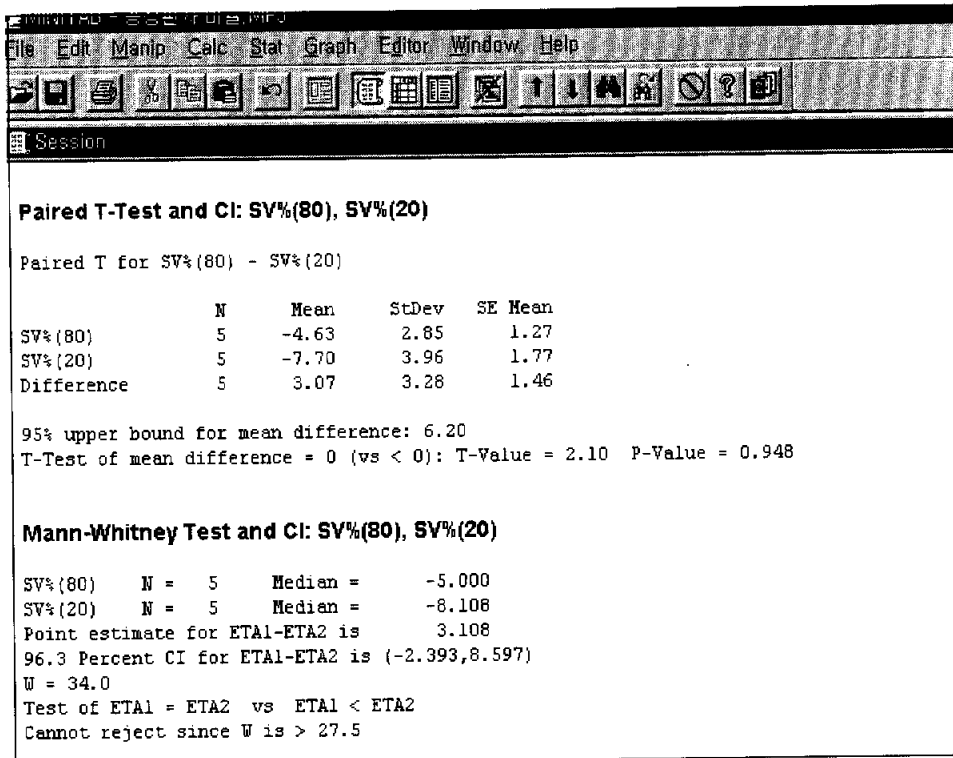


<그림 23> 미니탭을 이용한 공정편차(금액)의 검정결과

공정편차 역시 비용편차와 마찬가지로 금액으로 나타난 공정편차의 경우는 계 약규모와 인플레이션이 고려되지 않아 대립가설이 채택되지 않는다. 따라서 가설 6에서 공정편차를 비율로서 나타내어 검증하였다. 그 결과 <그림 24>에서 최종 공정편차의 평균은 -4.63이고, 20%달성시점에서 공정편차의 평균은 -7.70이다. 3.07의 공정편차 평균은 통계적으로 유의하지 못하며 공정편차는 나빠지지 않는다. 이 경우 W(순위합통계량)가 27.5보다 크기 때문에 one-tailed p값이 0.05이상 이다. 따라서 귀무가설을 기각할 수 없다.<“수리통계학”의 순위합통계량표 참고>

$H_{60} : SV\% \text{ final} - SV\%20 \geq 0 \Rightarrow$ 공정편차비율은 더 나빠지지 않을 것이다

$H_{6A} : SV\% \text{ final} - SV\%20 < 0 \Rightarrow$ 공정편차비율은 더 나빠질 것이다

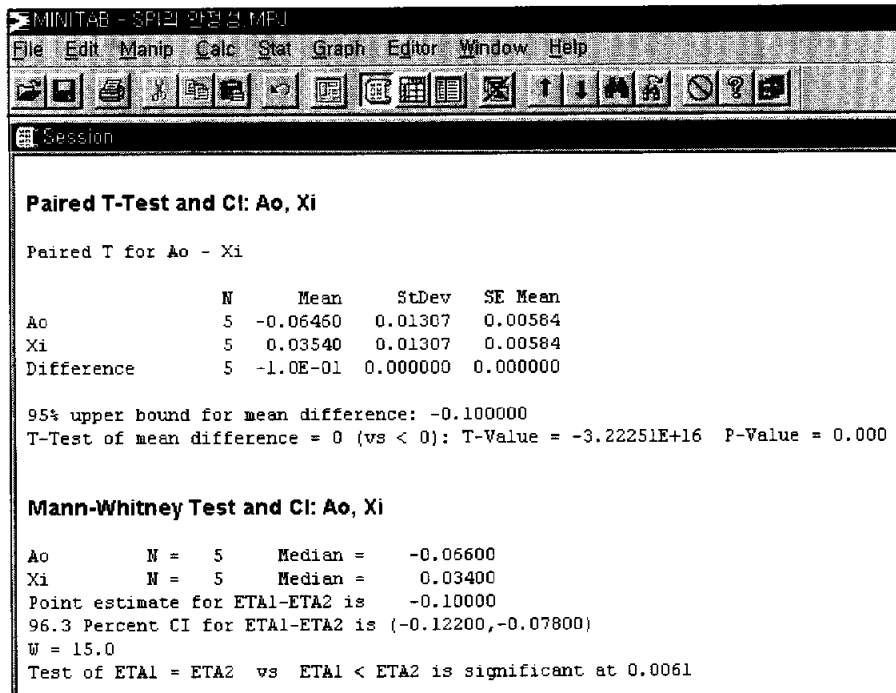


<그림 24> 미니탭을 이용한 공정편차(비율)의 검정결과

<그림 25>은 가설 7의 경우로서 귀무가설이 기각되었다. 따라서 누적공정성과 지수는 20%달성시점에서부터 누적공정성과지수의 값이 0.1이상 변하지 않았으며, 이는 누적 공정성과지수의 안정성을 나타내는 것으로 누적 비용성과지수의 평균 절대편차가 0.10이하로 유의적임을 보여주고 있다(one-tailed $p < 0.0061$).

$H_{70} : | \text{SPI final} - \text{SPI20} | \geq 0.1 \Rightarrow \text{SPI는 } 0.1\text{이상까지 변할 것이다}$

$H_{7A} : | \text{SPI final} - \text{SPI20} | < 0.1 \Rightarrow \text{SPI는 } 0.1\text{이상까지 변하지 않을 것이다}$



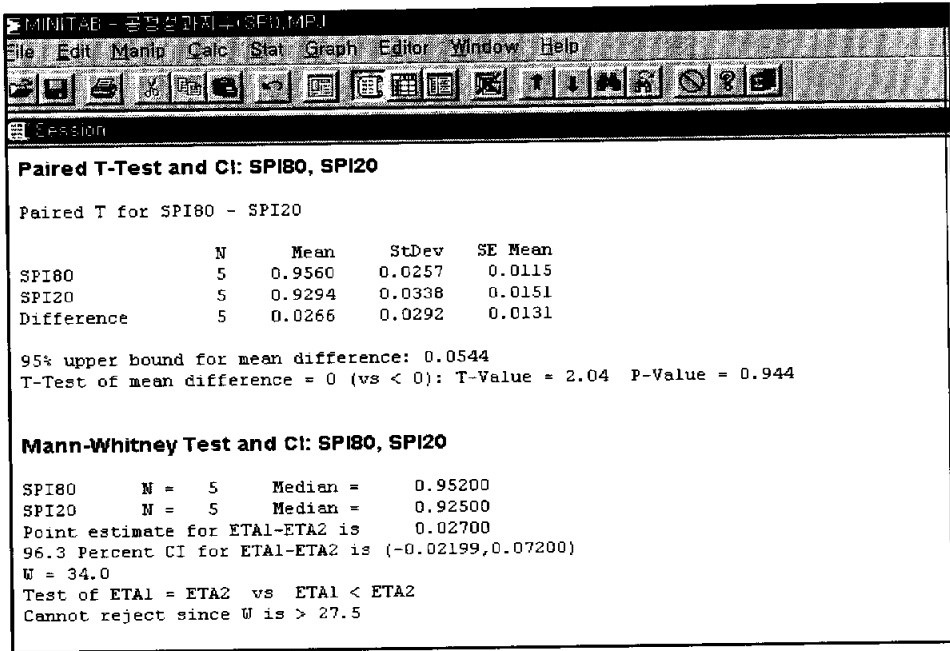
<그림 25> 미니탭을 이용한 공정성과지수 안정성의 검정결과

<그림 26>에서는 최종 누적공정지수의 평균이 0.956이고 20%달성시점에서 누적공정성과지수의 평균은 0.929이다.

0.0266의 최종 공정성과지수와 20%시점에서의 공정성과지수의 평균 차이도 공정편차의 비율과 같이 유의하지 못하다. 이 결과 또한 W(순위합통계량)가 27.5보다 크기 때문에 one-tailed p값이 0.05 이상이 된다. 따라서 공정성과지수는 나빠지지 않았으며, 귀무가설은 기각되지 않는다.

$H_{80} : \text{SPI final} - \text{SPI 20} \geq 0 \Rightarrow \text{최종 SPI는 더 나빠지지 않을 것이다}$

$H_{8A} : \text{SPI final} - \text{SPI 20} < 0 \Rightarrow \text{최종 SPI는 더 나빠질 것이다}$



<그림 26> 미니탭을 이용한 공정편차(비율)의 검정결과

가설들의 타당성을 검증하기 위한 프로젝트들의 검정결과 최종시점의 비용편차가 20%달성시점의 비용편차보다 나빠지고, 누적비용성과지수 또한 나빠졌다. 이에 반하여 최종시점의 공정편차는 20%달성시점의 공정편차보다 더 나빠지지 않았으며 누적공정성과지수 또한 나빠지지 않았다. 그리고 비용성과지수와 공정성과지수의 안정성과 관련된 가설3과 가설7의 검정결과 프로젝트들의 누적비용성과지수는 20%달성시점에서부터 최종누적비용성과지수의 평균값이 0.1이상 변하지 않았으며, 누적공정성과지수 또한 20%달성시점부터 최종누적공정성과지수의 평균값 0.1이상 변하지 않았다. 따라서 비용성과지수와 공정성과지수는 사업진도를 20% 시점부터 오차율이 10%이내임이 검증되었다.

3.4 건축골조공사 중 R.C조에 적합한 EAC 평가방법

가설검정을 통하여 EAC 평가방법들에 대한 타당성을 검증함으로써, 국내 건축 골조공사중 R.C조에 적합한 EAC평가방법을 제안하고자 한다. 가장 중요한 것은 CPI와 SPI의 안정성과 관련한 것으로, CPI와 SPI는 오차율 10% 이내에서 안정 하다고 검증되었다. 그러나 프로젝트A의 EV 데이터분석 결과 공정성과지수의 경우는 사업진도를 15%~20% 시점부터 안정적인데 반하여 비용성과지수는 0.1 이상의 증감이 있으므로 안정적이라고 보기는 어렵다.

따라서, 본 연구에서 몇몇 프로젝트들을 대상으로 분석하였을 때 CPI가 안정적이었으나 모든 프로젝트에 CPI가 안정성을 띤다고 주장하는 것은 위험하다. 다만 이러한 결과는 국내 건설환경의 특수성을 감안할 경우 시사하는 바가 크므로, 향후 더 많은 EV자료의 축적을 통해 재검증할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 국내건축공사 중 R.C조에 적합한 EAC 평가방법을 공정측면 중심으로 제안하고자 한다.

1. 최종공정편차(SV final)는 사업진도를 20% 시점의 공정편차(SV20%)보다 나빠지지 않을 것이다.
2. 누적공정성과지수(cum SPI final)는 사업진도를 20% 시점의 누적공정성과지수(cum SPI 20%)에서 0.1이상 변하지 않을 것이며, 최종 누적공정성과지수도 나빠지지 않을 것이다.

제 4 장 결론 및 발전방향

건설 프로젝트는 대규모 사업으로 장기간에 걸쳐 수행되므로 성과효율에 대한 자료분석과 최종예상공사비 예측이 매우 중요하다. 건설프로젝트에서 최종예상공사비를 정확하게 평가하고 현실적인 비용을 측정하는데 유용하게 사용하기 위하여 이용 가능한 최종예상공사비 평가방법이 필요하며, 그것들에 대한 타당성을 검증할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 EVMS 적용 시 최종예상공사비의 평가방법을 검토하고, 그에 대한 타당성을 검증하기 위해 가설검정을 수행하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 최종비용편차(CV final)는 사업진도율 20% 시점의 비용편차(CV20%)보다 나빠졌다.
- (2) 누적비용성과지수(cum CPI final)는 사업진도율 20% 시점의 누적비용성과지수(cum CPI 20%)에서 0.1이상 변하지 않으므로 안정성을 가지지만, 최종 누적비용성과지수는 나빠졌다.
- (3) 최종공정편차(SV final)는 사업진도율 20% 시점의 공정편차(SV20%)보다 나빠지지 않았다.
- (4) 누적공정성과지수(cum SPI final)는 사업진도율 20% 시점의 누적공정성과지수(cum CPI 20%)에서 0.1이상 변하지 않으므로 공정성과지수는 안정성을 가진다. 그리고 최종 누적공정성과지수도 나빠지지 않았다.

위의 결과에 의하면 건축골조공사 중 R.C조의 경우는 최종예상공사비 예측 시 비용성과지수보다 공정성과지수가 더 타당성이 있는 것으로 나타났다. 따라서 국내에 보편적으로 적용되는 정액계약방식(Fixed-Price Contract)하에서는 EVM기

법 적용 시 공정편차와 성과지수에 관련해 EAC를 평가해야 할 것이다. 하지만 미국의 경우 프로젝트 수행을 위해 비용상환(Cost-Reimbursable) 또는 인센티브 계약(Incentive Contract)이 활용되므로 EVM기법 적용 시 비용편차와 성과지수에 관련해 EAC를 평가할 수 있다.

따라서 국내 건축골조공사 중 R.C조에 적합한 최종예상공사비 평가방법으로는 비용중심보다는 공정중심으로 EAC를 예측하는 것이 더 타당성이 있다. 이는 최종예상공사비를 정확하게 평가하고 실제 적용 가능한 비용을 예측하는데 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 이와 더불어 이러한 평가방법은 보다 정확한 예측을 가능하게 할 것이다. 그러나 본 연구는 자료의 부족으로 인하여 분석결과에 대한 정확한 검증이 어려울 것으로 사료되므로 향후 다른 공종들에 대한 충분한 자료를 기반으로 재검증이 요구된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, “건설사업관리업무지침”, 2001
2. 건설교통부, “건축공사·기계설비공사 수량산출기준”, 2000
3. 김영재, 김정래, 김선규, “총액계약 건설공사의 EVM 운영모델” 대한건축학회 논문집 구조계 18권6호(통권164호), 2002.06
4. 김양택, 현창택, “Work Packaging Model의 개선을 통한 공정 - 공사비 통합모델 구축”, 건설관리학회지 한국건설관리학회, 제1권 제4호, 2000, pp.82-90
5. 김우명, 김옥규, 최윤기, 이현수, “공통자(Common Denominator)와 공통분류(Common Category)에 의한 비용/일정 통합모델 개발”, 대한건축학회 논문집 구조계 제18권 제6호(통권 제164호), 2002.06
6. 김선규, 김재준, “EVMS 최종공사비 예측 모델 최적성과지수에 대한 고찰”, 건설관리학회지 한국건설관리학회, 제1권 제3호(통권 제3호), 2000, pp.101-107
7. 송문섭, “비모수통계학개론” 자유아카데미, 1997
8. 송창영, 유봉열, 이수곤, “건설 프로젝트 관리를 위한 작업중심의 Earned Value Management System 모델의 연구”, 2002
9. 박익수, “매트릭스기법에 의한 EVMS구현모델”, CMP Jurnal, 한국기술사회, 제1권 제2호(통권 제2호), 2001
10. 이유섭, “건설공사 EVMS적용방안“, 한국건설기술연구원, 2001
11. 이유섭, “공정·공사비 통합관리(EVM)를 통한 건설사업관리 선진화 방향” 건설경영정보센터, 2000
12. 임형철, 송영석, 김동진, 최정석, “비용-일정 통합관리를 통한 건축공사 EVMS 구축, 대림기술정보, 2002
13. 이복남, “건설공사 진도 및 기성고 산정 방법 개선”, 한국건설산업연구원, 1997

14. 이재섭, “공기 지연에 따른 손실비용 산정 기준” 한국건설산업연구원, 1999.12
15. 이현수, “건설사업비 관리” 서울대학교 건축학과
16. 이학기, “건설공사 사업비관리의 실태 및 개선방안”, 동아대학교 건축학부
17. 이양호, “MRP기법을 이용한 EVMS의 복합작업 · 자원계획에 관한 연구”, 석사학위논문, 2002.02
18. 원동수, 김우영, 이현수, “EVMS 적용을 위한 최적 성과측정기준선 설정 및 진도율 산정 방법” 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집 제2회 (2001-11)
18. 정영수, 이영환, “EVMS의 이해와 활용방안, 한국건설산업연구원, 1999
20. 최윤기, “일정과 비용을 통합한 건설공사 진도율 산정 시스템” 박사학위논문, 서울대학교, 1999
21. 최윤기, “단위작업별 내역물량 측정에 의한 공사진도율 산정 모델” 대한건축학회논문집 구조계 18권2호(통권 160호), 2002.02
22. 홍성훈, 권혁무, 이민구, 김상부, “6시그마를 위한 기초통계 및 MINITAB사용법”, KSA 한국표준협회, 2000
23. 허문열, 송문섭, “수리통계학” 박영사, 1997
24. Abudayyeh, Osama Y. and Rasdorf, William J., “Cost and Scedule Control Integration: Issue and Needs”, Journal of Construction Engineering & Management, ACSE, 117(3), pp.486-502, 1991
25. Amaral, Juan H., “Effect of Feedback on Cost Performance Report Utility”, Masters Thesis, Air Force Institute of Technology(AU), Wright - Patterson, AFB, Ohio, 1989
26. Ahuja, Hira N. and Dozzi, S. M. Abourizk, “Project Management”(2nd), JOHN WILEY & SONS, INC. 1994
27. Christensen, David S., “Cost Overrun Optimism : Fact or Fiction?”, Acquisition Review Quarterly, 1994
28. Christensen, David S., “Using The Earned Value Cost Management Report to Evaluate the Contractor’s Estimate at Completion, Acquisition Review Quarterly, pp.283-291, 1999

29. Christensen, David S., "Determining an Accurate Estimate at Completion", National Contract Management Journal 25: 17-25, 1993
30. Christensen, David S., "The Costs and Benefits of the Earned Value Management Process", Acquisition Review Quarterly, 1998
31. Christensen, David S., "Project Advocacy and the Estimate At Completion Problem", Journal of Cost Analysis, pp.35-60, 1996
32. Christensen, David S., "EAC Evaluation Methods : Do They Still Work?", Acquisition Review Quarterly 9 : 105-116, 2002
33. CII, "Work Packaging For Project Control", Construction Industry Institute(CII), The University of Texas at Austin, 1997
34. Cole, John R. Jr. and Fussell, Judson M., "A Cost-Benefit Analysis of Earned Value Management System Criteria", Thesis of Master Degree of Science in Cost Analysis , Air Force Institute of Technology, 1997
35. Dennis J. Frailey, "Tutorial on Earned Value Management System", Software Project Management, 1999-2001
36. EIA Engineering Dep, "Earned Value Management Systems(ANSI/EIA-748)", EIA(Electronic Industries Alliance), 1998
37. Fleming, Quentin W. and Koppelman, Joel M., "Earned Value Project Management: A Powerful Tool For Software Projects." Crosstalk:The Journal of Defense Software Engineering, pp.19-23, 1998
38. Fleming, Quentin W. and Koppelman, Joel M., "The Earned Value Project Management Body of Knowledge." Proceedings of the 14th World Congress on Project Management, pp.793-798, 1998
39. Fleming, Quentin W. and Koppelman, Joel M., "Earned Value Project Mangement", Project Management Institute, 2000
40. Goldberg, Matthew S. and Webber, Charles A., "Evaluation of Risk Analysis and Cost Management Model", Institute of Defense Analysis, 1997
41. Goodpasture, John, "Everything You Wanted to Know about Time-centric

Earned Value", PM Network, 14:51-54, 2000, Analysis and Cost Management Model", Institute of Defense Analysis, 1997

42. Graham K. Rand, "Critical Chain: The Theory of Constraints Applied to Project Management", International Journal of Project Management pp. 173-177, 2000
43. Grary C. Humphreys, " Assessing the Impact of Front-Loading on the CPI and EAC" ,The Measurable News - 2001.09
44. Lipke, Walter H. and Mike Jennings, "Software Project Planning, Statistics, and Earned Value." CrossTalk-The Journal of Defense Software Engineering, 13:10-14, 2000
45. Nevins, Daniel P., Ronald J. Zabitski, and Bridget E. O'Reilly., "Integrated Network Planning and Scheduling with 3D Construction Models." AACE Transactions C.10., 1993
46. PMBOK, "A Guide to the Project Management Body of Knowledge", Project Management Institute, 2000
47. Primavera Korea, "P3 Manual", Primavera, 2000
48. Randal B. Lorance P.E., Robert V. Wendling, "Basic Techniques for Analyzing and Presentation of Cost Risk Analysis",
49. William R. Duncan, "Estimate Variance: Charting the Rate of Change in Estimate At Completion." In Control 1:55-64, 1987
50. <http://www.acq.osd.mil/ar/clreport.htm/execsumm>
51. <http://www.dmo.defence.gov.au/esd/evm/index.cfm>, Earned Value Web Site for Australia
52. <http://www.suu.edu/faculty/christensend/ev-bib.html>. Comprehensive Bibliography of EV Articles.
53. <http://www.sceaonline.net/>

Evaluation Methods of Estimate At Completion of the Building Framework by EVMS

Eun-Jin Park

*Interdisciplinary Program of Construction Engineering and Management
Graduate School Pukyong National University*

Abstract

Earned Value Management System(EVMS) has been institutionalized as an advanced management technique of construction project lately. And its research has been in the active progress in order to utilize the earned value concept as a project management tool for construction project ordered by both government and private sector. However it is necessary to test and prove the EVMS's adaptability to our construction environment by EVMS's several operations before its introduction. Project forecasting phase of EVMS is the Estimate At Completion by utilizing earned value data.

So, the purpose of this study is to propose EAC evaluation method for evaluation the accuracy of the EAC and encouraging cost realism, and to test for proving the validity of the evaluation methods through hypothesis testing.

감사의 글

강물이 흐르듯 2년이라는 시간이 흘러 논문을 마무리하는 순간이 다가왔습니다. 이 순간이 너무나 막연하게만 느껴져 힘들었던 시간도 많았습니다. 2년이라는 시간을 되짚어 보면 힘들어 포기하고 싶었던 순간도 있었고, 즐거웠던 순간도 있었습니다. 힘든 시간보다도 즐겁고 소중했던 시간이 더 많아 그 기쁨보다는 아쉬움과 섭섭함이 더 앞서는 것 같습니다. 또한 정들었던 나의 작은 공간은 내게 친구와 같은 역할을 해 주었기에 더욱 진한 아쉬움으로 남는 것 같습니다. 그리고 교수님들의 자상한 가르침과 선배님들의 따뜻한 조언으로 많은 것을 배우고, 깨달으며 한 단계 발전된 모습의 제가 있게 된 것 같습니다.

먼저 부족한 저를 아껴주시고 지도해주신 김수용교수님께 깊은 감사를 드립니다. 연구실 선배들이 좋은 결과로 졸업하여 논문에 대해 다소 부담스러웠던 저에게 항상 격려해주시고 배려해주신 교수님의 깊은 마음에 다시 한번 머리 숙여 감사 드립니다. 바쁘신 가운데 오셔서 논문 심사와 함께 조언을 아끼지 않으시던 이영대교수님과 이수용교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 대학원 생활을 하는 동안 깊은 관심을 가져주시고 가르침을 주신 이종출교수님, 옥영석교수님, 고성석교수님, 김영진교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

항상 부족한 논문에 관심 가져주시고 많은 도움을 주신 박세정이사님과 양산 ICD 정석현과장님께 진심으로 감사의 말씀을 전합니다. 그리고 제가 힘들고 어려워 할 때 항상 격려와 조언을 아끼지 않으시던 최용호선배님께 깊은 감사를 드리며, 선배님의 따뜻하고 깊은 마음 잊지 못할 것입니다.

아버지처럼 자상하시고 저에게 항상 좋은 말씀과 더불어 올바른 삶의 방향을 제시해 주시던 황효수사장님과 김성환단장님, 박혁과장님, 이성록상무님, 김종철과장님, 김사명단장님, 박종경단장님께 감사의 말씀을 전합니다. 항상 열정적인 모습으로 격려를 아끼시지 않던 임해만과장님, 김기영소장님, 허열사장님께 또한

감사의 마음을 전합니다. 집의 방향이 같아 항상 저를 챙겨주신 정충원과장님께
도 고마움을 전합니다. 그리고 입학동기로서 저를 항상 격려해주시고 염려해주시
박세정이사님, 정재훈소장님, 이영두소장님, 백창원이사님께도 그 고마움을 전하
며, 남은 마무리 잘 하시길 바랍니다. 그리고 여러 가지 일로 고민이 많은 정희
도 굳은 마음으로 좋은 결실을 맺길 바라고, 용환오빠도 남은 마무리 잘 하여 좋
은 논문 쓰기를 바랍니다.

또한, 연구실 생활의 적응에 힘들어하고 논문으로 힘들어할 때 항상 다독여 주
고 조언을 해준 양호선배와 진국선배에게 깊은 감사를 전합니다. 그리고 토목과
병욱이 선배, 영이 선배, 후배 용득이에도 고마움을 전합니다. 대학원 후배이면서
동기라서 불편할 수도 있었지만 오히려 더 많은 도움이 되었던 정현이에게는 고
마움과 격려를 전하며 더 나은 결실이 있기를 바랍니다. 그리고 행정적으로 여러
가지 많은 도움을 주신 임인진, 윤경순 조교선생님께 깊은 감사를 드리며, 함께
했던 소중한 시간들을 추억으로 기억하며 모두가 행복하시길 기원합니다.

지금은 모두가 자기의 일을 찾아 항상 함께 하지는 못하지만, 친구로서 언제나
격려와 충고를 아끼지 않고 진한 우정을 보여준 미선이, 혜영이, 영애, 영실이에
게도 고마움을, 친동생보다도 나를 더 아껴준 현정이 언니에게는 감사의 마음을
전합니다.

또한, 멀리 있지만 누구보다도 나를 걱정해주고 격려해주며 나의 든든한 버팀목
이 되어준 승우에게 깊은 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 끝까지 학업을 마칠 수 있게 저를 믿고 뒷바라지 해 주신 부모님과
항상 긍정적으로 생각해준 두 오빠와 올케언니께 진심으로 감사의 마음을 전하
며, 못난 자식을 위해 헌신적인 사랑으로 희생하신 부모님께 부족한 저의 논문을
바칩니다. 항상 건강하시고 행복하시길 바랍니다.

사랑합니다...

2003년 1월 박은진 올림