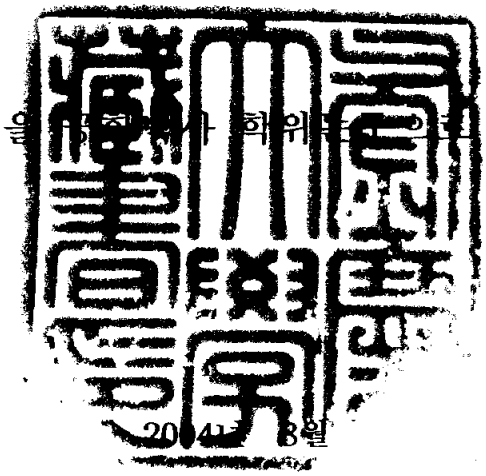
공 학 박 사 학 위 논 문

건설 프로젝트의 일정·비용 통합관리시스템 운영 방안

A study on the Operation of EVMS in Construction Project

지도교수 김 수 용



이 논문을 공학박사 학위논문으로 제출함

2004년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

건설관리공학협동과정

안 동 근

안동근의 공학박사 학위논문을 인준함

2004년 6월 24일

주 심 농공학박사 이 영 대 (인)

부 심 공 학 박 사 이 종 출 (인)

위 원 공 학 박 사 김 대 영 (인)

위 원 공 학 박 사 조 훈 희 (인)

위 원 공 학 박 사 김 수 용 (인)

목 차

그림 목차 iv

표 목차 vi

국 문 요 약 viii

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적 1

1.2 연구동향 3

1.3 연구방법 및 범위 11

2. 일정·비용 통합관리 시스템의 프로세스 구축

2.1 EVMS의 개요 13

2.1.1 EVMS 개념과 발전 13

2.1.2 EVMS의 용어 17

2.1.3 EVMS의 계획 수립절차 19

2.2 프로젝트의 작업·자원 계획 21

2.3.1 MRP의 개념 21

2.3.3 일정과 비용의 통합관리 시스템 24

2.3.3 복합작업의 활용 29

2.3.4 EVMS의 수행 프로세스 31

2.3.5 EV 데이터시트의 작성 37

3. 일정·비용 통합 관리시스템을 이용한 진도관리

3.1 EVMS기반 공사관리체계 40

3.1.1 EVMS 적용을 위한 환경 분석 40

3.1.2 건설사업 진도관리 방법론 ····· 44
3.2 일정·비용의 통합 ····· 51
3.3 진도율의 산정 ····· 55
3.3.1 진도율 산정에 관한 기존 연구 ····· 55
3.3.2 진도율 산정 기본 방향 ····· 62
3.3.3 진도율 산정 방법 제안 ····· 64

4. 최종 예상 공사비의 예측
4.1 EVMS의 데이터 분석 ····· 69
4.1.1 EVMS의 성과 측정 요소 ····· 69
4.1.2 EVMS의 분석 요소 ····· 71
4.2 최종 예상 공사비 ····· 72
4.2.1 최종 예상 공사비의 개요 ····· 72
4.2.2 최종 예상 공사비의 추정 방법 ····· 74
4.3 EAC 평가 방법에 대한 타당성 검정 ····· 78
4.3.1 비모수 검정 ····· 78
4.3.2 EAC를 예측하기 위한 평가방법 ····· 80
4.3.3 타당성 평가를 위한 가설의 설정 ····· 81

5. 일정·비용 통합관리 시스템의 적용 사례
5.1 적용 현장의 개요 ····· 84
5.2 일정·비용 통합 계획의 수립 ····· 85
5.2.1 작업 분류체계의 수립 ····· 85
5.2.2 비용 분류체계의 수립 ····· 87
5.2.3 EVMS의 운영 ····· 91
5.3 진도율 산정 방법의 비교 ····· 95

5.4 EAC 평가 방법에 대한 가설 검정 ····· 101
5.4.1 분석 대상의 선정 ····· 101
5.4.2 대상 사례현장의 EV 분석 ····· 103
5.4.3 가설 검정 ····· 112
5.4.4 EAC 평가 방법의 제안 ····· 123

6. 결 론 ····· 124

참 고 문 헌 ····· 126

그림 목차

<그림 1.1> 연구의 흐름도 ····· 10
<그림 2.1> EVMS 개념의 전개 ····· 16
<그림 2.2> EVMS에 의한 계획수립 절차 ····· 19
<그림 2.3> MRP 시스템의 기본구조 ····· 21
<그림 2.4> MRP 시스템의 구성 ····· 23
<그림 2.5> 일반적인 건축공사의 작업분류 체계 ····· 26
<그림 2.6> 대상프로젝트의 작업분류체계 ····· 27
<그림 2.7> WBS의 Work Package를 바탕으로 한 Scheduling ····· 31
<그림 2.8> 공정관리소프트웨어(P3)에 의한 일정계획의 수립(Bar Chart) ··· 32
<그림 2.9> 공정관리소프트웨어(P3)에 의한 일정계획의 수립(PDM) ··· 32
<그림 2.10> 입력창을 이용한 작업 선후관계 입력 ····· 33
<그림 2.11> 관리계정의 작성 ····· 34
<그림 2.12> 프로젝트계약금액에 기반을 둔 비용 Category ····· 35
<그림 2.13> 관리계정에 의한 PMB 수립과정 ····· 36
<그림 2.14> 자원의 투입계획량과 실투입량에 대한 관리시트 ····· 37
<그림 2.15> 인력에 대한 투입단가표 ····· 38
<그림 2.16> 자재, 장비에 대한 투입단가표 ····· 38
<그림 2.17> 일정에 따른 Work Package들의 예산 및 실적 시트 ····· 39
<그림 2.18> MRP에 의한 EVMS의 계획수립과 분석절차 ····· 39
<그림 3.1> 일반적인 비용 지출 ····· 50
<그림 3.2> 전통적인 비용관리 : 계획 대 실투입비 ····· 50
<그림 3.3> Earned Value 관리 ····· 50
<그림 3.4> 작업과 내역 항목간의 관계 ····· 54
<그림 3.5> 진도율 산정 프로세스 ····· 65

<그림 4.1> 프로젝트 완성 시점에 대한 예측지표 ····· 70
<그림 4.2> 초과공정에 대한 정량화 된 EAC ····· 74
<그림 4.3> 누적 CPI에 의한 EAC ····· 75
<그림 4.4> CPI와 SPI의 조합에 의한 EAC ····· 76
<그림 4.5> 잔여 성과 지수 (TCPI) ····· 77
<그림 5.1> 작업분류체계의 구축 ····· 85
<그림 5.2> 실투입비의 조정 ····· 93
<그림 5.3> 여유시간의 산정 ····· 95
<그림 5.4> 사례대상의 CV·SV 비율의 변화 ····· 107
<그림 5.5> 사례대상의 성과지수의 변화 ····· 107
<그림 5.6> 사례대상의 성과분석 ····· 108
<그림 5.7> 비용편차의 비율 비교 ····· 110
<그림 5.8> 공정편차의 비율 비교 ····· 110
<그림 5.9> 비용성과지수의 비교 ····· 111
<그림 5.10> 공정성과지수의 비교 ····· 111
<그림 5.11> 비용편차의 정규성 검정 ····· 113
<그림 5.12> 공정편차의 정규성 검정 ····· 113
<그림 5.13> 미니탭을 이용한 비용편차(금액)의 검정결과 ····· 114
<그림 5.14> 미니탭을 이용한 비용편차(비율)의 검정결과 ····· 115
<그림 5.15> 미니탭을 이용한 비용성과지수 안정성의 검정결과 ····· 116
<그림 5.16> 미니탭을 이용한 비용성과지수의 검정결과 ····· 117
<그림 5.17> 미니탭을 이용한 공정편차(금액)의 검정결과 ····· 118
<그림 5.18> 미니탭을 이용한 공정편차(비율)의 검정결과 ····· 119
<그림 5.19> 미니탭을 이용한 공정성과지수 안정성의 검정결과 ····· 120
<그림 5.20> 미니탭을 이용한 공정편차의 검정결과 ····· 121

표 목차

<표 1.1> EVMS 관련 주요 연구현황 ····· 8
<표 2.1> EVMS 기법에 사용되는 용어 ····· 17
<표 2.2> EVMS 사용용어의 통일 제안 ····· 18
<표 2.3> EVMS의 단계별 주요업무 ····· 20
<표 2.4> 수량산출기준을 참고로 작성한 공종분류코드의 예 ····· 28
<표 2.5> 작성된 복합작업시트 ····· 30
<표 3.1> 여러 가지 Earned Value 측정 방법 ····· 47
<표 3.2> 관리 기법 비교 ····· 48
<표 3.3> 일정·비용 통합 방법론의 비교 ····· 51
<표 3.4> 진도율 산정에 대한 기존 연구 분석 ····· 56
<표 3.5> 국외 건설사업의 진도율 및 기성고 산정 방법과 운영 사례 ·· 59
<표 3.6> 비용 가중치 산정 방법 ····· 64
<표 3.7> 일정 가중치 산정 방법 ····· 66
<표 3.8> 가중 진도율 산정 방법 ····· 67
<표 4.1> 최종예상 공사비 평가 방법 ····· 80
<표 4.2> 비용편차·비용성과지수관련 가설검정 ····· 81
<표 4.3> 공정편차·공정성과지수 관련 가설검정 ····· 82
<표 5.1> 사례 현장의 개요 ····· 84
<표 5.2> 프로젝트 및 대공종수주의 비용분류체계 ····· 86
<표 5.3> 공구/동 수준의 비용분류체계 ····· 86
<표 5.4> Work Category 수준의 비용분류체계 ····· 87
<표 5.5> Work Package수준의 비용분류체계 ····· 88
<표 5.6> 조직분류체계의 작성 ····· 88
<표 5.7> 중공종 수준으로 작성한 직접공사비 내역 ····· 89

<표 5.8> 세부적으로 작성된 철근콘크리트공사에 대한 실행 예 ····· 90
<표 5.9> 계획대비 평가시점의 누적공사실적 ····· 91
<표 5.10> 누적공사비에 대한 CPI, SPI ····· 91
<표 5.11> 철근콘크리트공사에 대해 작성된 EV데이터분석시트 ····· 92
<표 5.12> 진도율 15%의 비교 ····· 96
<표 5.13> 진도율 20%의 비교 ····· 96
<표 5.14> 진도율 50%의 비교 ····· 97
<표 5.15> 진도율 80%의 비교 ····· 97
<표 5.16> 각 진도율 산정 결과 ····· 98
<표 5.17> 조사 대상 프로젝트의 개요 ····· 102
<표 5.18> 공정율 14.2%일 때의 실적분석 ····· 104
<표 5.19> 공정율 20%일 때의 실적분석 ····· 104
<표 5.20> 공정율 34.2%일 때의 실적분석 ····· 105
<표 5.21> 공정율 43.5%일 때의 실적분석 ····· 105
<표 5.22> 공정율 55%일 때의 실적분석 ····· 106
<표 5.23> 공정율 65%일 때의 실적분석 ····· 106
<표 5.24> 공정율 80%일 때의 실적분석 ····· 106
<표 5.25> 사례대상별 실적분석 ····· 109
<표 5.26> 비용편차의 비율비교 ····· 110
<표 5.27> 공정편차의 비율비교 ····· 110

국문요약

건설 프로젝트의 일정·비용 통합관리시스템 운영 방안

건설관리공학협동과정 안 동 근
지도 교수 김 수 용

신뢰성 있는 관리 시스템의 도입은 건설사업을 수행하는데 있어 필수적이라 할 수 있으며 이는 특히, 고비용·저효율 구조로 인한 비용효과 및 수익성 저하와 건설생산 프로세스의 투명성 저하 및 비용 투입구조의 불명확, 건설사업관리 지식·기술의 부족 및 정보화 수준 미흡 등의 어려움을 겪고 있는 국내 건설 산업의 현실을 비춰 볼 때 과학적이고, 체계적인 건설 관리시스템의 도입은 필요단계를 넘어 매우 절박한 실정이다.

이에 정부는 1999년 공공건설사업의 예산절감과 효율성 제고를 위하여 "공공건설사업 효율화 종합대책(1999.03 건설교통부)"을 발표 하고 이의 일환으로 건설기술관리법 시행령을 개정하여 일정·비용 통합관리 시스템(Earned Value Management System 이하 EVMS)의 적용을 법제화 하여 일부 건설사업에 대하여 관리 시스템의 도입을 의무화 하였다. 그러나 현행 국내 건설사업의 경우 EVMS에 의한 성과측정의 주요 대상이 되는 일정, 비용, 품질에 대한 관리가 결과 중심적으로 이루어지고 있으며, 서로 다른 관리 목적에 의해 일정과 비용이 개별 관리 되고 있기 때문에 일정 및 비용의 증가, 건설사업 수행 과정에서의 리스크 조기발견 및 대책 수립의 어려움 등 EVMS의 도입과 원활한 운영을 위해서는 여러 가지 해결해

야 할 문제점 들이 산적해 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 EVMS의 초기 기획 단계에서부터 분석 및 활용 단계에 이르는 건설관리시스템의 활용 전 단계에 걸쳐 문제점을 분석하고 보다 낳은 운영 방안을 제시하여, 국내 건설사업의 효율성 개선과 생산성 향상을 위하여 보다 체계적이고 과학적인 건설 관리 시스템의 도입과 운영을 도모하고자 한다.

주요어 : EVMS, EAC, Project Planning, Progress Measurement

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

건설 프로젝트의 성공 여부는 일반적으로 비용, 기간, 품질의 세 가지 요소를 모두 만족 시킬 수 있느냐에 달려 있으며, 이를 목표로 프로젝트를 계획, 운영, 관리 하는 사람을 건설사업 관리자(Construction, CMr)라 한다. 건설사업 관리자는 건설 프로젝트의 원활한 수행을 위하여 현장 상황을 항상 모니터링 하며 이와 동시에 프로젝트를 계획 하고 평가함으로서 성공적 프로젝트를 이끌어 내게 된다. 그러나 매우 복잡한 구조적 특성을 갖는 건설 프로젝트를 건설사업 관리자의 인적 능력만으로 이끌어 가는 것에는 한계가 있으며, 이를 보완하기 위하여 관리 시스템을 이용하게 된다.

건설 프로젝트를 수행함에 있어 관리 시스템은 건설사업 관리자를 도와서 복잡하게 얽혀 있는 각각의 작업을 체계적이고 유기적으로 이끌어 갈 수 있도록 통합해주는 역할을 하며, 또한 관리자로 하여금 프로젝트의 상황을 항상 모니터링 할 수 있도록 하여 미래에 벌어질 상황에 대하여 항상 대비 할 수 있도록 해주는 역할을 수행하게 된다.

따라서 신뢰성 있는 관리 시스템의 도입은 건설사업을 수행하는데 있어 필수적이라 할 수 있으며 이는 특히, 고비용·저효율 구조로 인한 비용 효과 및 수익성 저하와 건설생산 프로세스의 투명성 저하 및 비용 투입구조의 불명확, 건설 사업관리지식·기술의 부족 및 정보화 수준 미흡 등의 어려움을 겪고 있는 국내 건설 산업의 현실에 비춰 볼 때 과학적이고, 체계적인 건설관리시스템의 도입은 필요 단계를 지나 매우 절박한 실정이라 할 것이다.

이에 정부는 1999년 공공건설사업의 예산절감과 효율성 제고를 위하여

"공공건설사업 효율화 종합대책('99.03 건설교통부)"을 발표 하고 이의 일환으로 건설기술관리법 시행령을 개정하여 일정·비용 통합관리 시스템(Earned Value Management System 이하 EVMS)의 적용을 법제화 하여 일부공공 건설사업에 대하여 관리 시스템의 도입을 의무화 하였다. 여기서 EVMS란 건설사업의 수행을 세부작업별로 소요되는 일정과 비용을 함께 고려하여 집행 체계를 수립하고 일정한 기간마다 주기적으로 달성성과를 측정한 결과를 토대로 정해진 일정과 비용 내에서 사업을 완료토록 하는 관리 시스템을 말하며, 이미 미국, 캐나다, 영국 등의 여러 선진국들로부터 그 가치를 인정받고 있는 시스템이다.

그러나 현행 국내 건설사업의 경우 EVMS에 의한 성과측정의 주요 대상이 되는 일정, 비용에 대한 관리가 결과 중심적으로 이루어지고 있으며, 서로 다른 관리 목적에 의해 일정과 비용이 개별 관리 되고 있기 때문에 일정 및 비용의 증가, 건설사업 수행 과정에서의 리스크 조기발견 및 대책수립의 어려움 등 EVMS의 도입과 원활한 운영을 위해서는 여러 가지 해결해야 할 문제점 들이 산적해 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 EVMS의 초기 기획 단계에서부터 분석 및 활용 단계에 이르는 건설관리시스템의 활용 전 단계에 걸쳐 문제점을 분석하고 보다 낳은 운영 방안을 제시하여, 국내 건설사업의 효율성 개선과 생산성 향상을 위하여 보다 체계적이고 과학적인 건설관리시스템의 도입과 운영방안을 모색해 보고자 한다.

1.2 연구동향

ANSI/EIA748 규정(1998)에 의해 EVMS(Earned Value Management System)가 공식적인 용어로 민간산업부문에 까지 확대되어 사용 된지가 얼마 되지 않은 탓에 EVMS라는 이름으로 발표된 논문과 연구실적은 아직까지는 그리 많지 않다. 하지만 민간산업분야를 위한 프로젝트관리시스템(Project Management System)과 같은 형태를 갖추기 이전, C/SCSC(Cost/Schedule Control System Criteria) 형태에서 정부발주 프로젝트에 대해 일정과 비용을 통합 관리하는 EVMS에 대한 연구는 이미 오랜 기간 계속되어 왔었다.

EV개념을 바탕으로 현재와 같은 형태의 일정·비용 프로젝트통합관리 기법으로 연구되어진 것은 1962년에 개발된 PERT/cost에서 그 기원을 찾을 수 있다. 이 PERT/cost는 미 해군(US. NAVY)에서 개발한 일정관리 도구인 PERT(Program Evaluation Review Technique)에다 자원을 배정한 것으로, 포함하고 있는 11개의 보고양식 중 비용보고서(Cost of Work Report)안에 수행된 작업의 가치(Value of Work Performed)대 실제비용(Actual Cost)관계를 나타내는 EV 분석개념에 의한 보고서 작성을 요구하고 있었다. 이후 미 공군(USAF)의 장성이었던 Driessnack이 중심이 된 "Cost Schedule Planning and Control Specification Group"에 의해 보다 정형화된 형태의 관리시스템으로서의 EVMS기법에 대한 연구가 이루어져 C/SPCS(Cost/ Schedule Planning & Control Specification) 이라는 기준들이 만들어졌고, 이를 보완하여 1967년도에 미 국방성(DOD)의 구매조달프로젝트의 성과를 관리하기위한 표준도구로서 35개의 기준으로 이루어진 C/SCSC (Cost/Schedule Control System Criteria)를 확정하여 발표하였다.

그러나 이 C/SCSC내의 EV 개념은 정부의 구매조달프로젝트에 한해

매우 제한적으로 적용되었고, 민간산업의 프로젝트 관리도구로서 받아들이기에는 적합한 형태가 아니었다. 이는 EVMS가 편리하다기 보다는 아주 복잡하고 이해하기 어려운 관리도구로 인식된 점과 정부발주프로젝트에 대한 강제적인 적용에 따른 민간산업부분의 이해관계가 얽혀있었기 때문이었다.

그러나 1995년 4월 애리조나주 피닉스에서 열린 국가방위산업협회(National Defense Industrial Association : 이하NDIA)의 관리시스템 소위원회의 정례모임에서 기존 C/SCSC의 EV 기준들에 대한 재검토와 민간산업부문에 적합한 형태의 EV 기준들의 개발에 대한 요구가 대두되었고, 이 결과 C/SCSC의 35개 기준들에서 32개의 기준으로 재 작성된 민간산업용 Earned Value Management System이 만들어졌다. BCWS, BCWP라는 어려운 용어는 사라졌고, "Planned Value", "Earned Value"라는 용어로 대체되어 산업현장에서 보다 쉽게 적용될 수 있는 형태로 만들어 졌다.

또한, 미 국방성(DOD)산하 Security of Defense for Acquisition & Technology의 Dr. Paul Kaminski(1996)에 의해 공식적으로 C/SCSC를 포기하고, 32개 기준조항으로 이루어진 산업계용 EV를 받아들인다는 내용이 담긴 "Instruction 5000.2R"을 발표하였다. NDIA의 Management System Committee는 EVMS가 단순히 미 국방성(DOD)의 구매프로젝트에 국한되는데 만족하지 않고 민간산업부문에까지 확대되어 적용될 수 있도록, 미국표준협회(American National Standard Institute : ANSI)와 전기협회(Electronic Industry Association : EIA)의 표준으로 채택되도록 승인을 요구하였고, 1998년 7월 마침내 ANSI/EIA 748규정으로 공식적인 승인을 얻게 되었다.

이와 같은 과정을 통해 EVMS와 관련된 연구들은 주로 EV개념을 효과적으로 적용할 수 있는 일정·비용 통합모델개발과 이러한 통합모델구

성에 필요한 관리계정(Control Account), 작업분류체계(WBS)의 작성, 관련기준들에 대한 연구, 비용초과(Cost Overrun)와 관련하여 최종공사비에 관한 다양한 예측기법과 신뢰성에 대한 연구가 주를 이루고 있고, 더불어 EV를 측정을 위한 진도율 산정 방법과 전산응용프로그램에 대한 연구가 병행되어 왔다.

일정과 비용의 통합모델과 관련하여 Abudayyeh and Rasdorf(1991)는 그들의 논문을 통해 다양한 형태의 모델에 대한 비교분석을 하였다.[1] CBS와 WBS의 비율배분(percent allocation)개념에 의한 대응관계를 제시한 Teicholz's model, Neil(1983)이 제시한 3차원적인 작업요소(Work Elements)개념의 매트릭스형태를 이용한 Hendrickson's model, WBS의 작업항목, CBS의 비용항목, 도면대상(Design Object) 등의 3가지 요소를 담고 있는 BOD(Basic Construction Operation Required by a Design Object)를 형성한 객체지향프로그래밍 형태의 전산데이터모델인 Ibbs's and Kim's model, 본 논문에서 주 연구대상으로 하고 있으며 프로젝트를 Top-Down형태로 분개하여 최하 관리수준인 Work Package를 이용하여 프로젝트통합관리를 시도하는 Work Packaging Model 등 기존통합모델에 대해 소개하고 있다.

또한 University of Texas at Austin에 위치한 CII(Construction Industry Institute)에서는 EPC프로젝트(Engineering Procurement-Construction Project)를 효과적으로 통제하기 위한 방안으로 작업분류체계를 중심으로 Work Packaging Model을 이용하는 방법에 대한 연구를 수행하였고[2], Quentin W. Fleming and Joel M. Koppelman은 그들의 공동저서인 "Earned Value Management(2001)"에서 관리계정(Control Account Plan

---

1) Abudayyeh, Osama Y. and Rasdorf, William J., "Cost and Schedule Control Integration : Issue and Needs", Journal of Construction Engineering & Management, ACSE, 117(3), 1991, pp486-502

2) CII, "Work Packaging For Project Control", Construction Industry Institute(CII), The University of Texas at Austin.(1997)

: CAP)을 이용하여 일정과 비용, 조직의 통합계획을 수립하여 EV개념에 의해 프로젝트를 관리하는 방법과 Loh(1990)와 Peters(1992)의 동시공학(Concurrent Engineering)적 측면의 통합생산개발팀(Integrated Product Development Teams : IPDTs)과 같은 개념의 Multifunctional Team CAPs을 민간산업부문의 모든 EV프로젝트에 적용할 것을 제안하고 있다[3].

한편, C/SCSC를 거쳐 EVMS를 통해 확정된 32개의 EV 기준들에 대한 연구는 앞에서 전술한 바와 같은 연구개발과정을 거쳐 확정되었으며, Wayne Abba(1986)와 John R. Cole, Jr and Judson M. Fussell(1997) 등에 의해 비용(Costs)과 혜택(Benefits)의 측면에서 기준들에 대한 심층적인 평가가 수행되었다.[4] 특히 수년간 Nothrop Corporation의 컨설턴트로 있었던 Quentin W. Fleming과 프리마베라사(Primavera)의 공동설립자이자 CEO인 Joel M. Koppelman은 그들이 수행한 프로젝트 경험들을 바탕으로 이를 축적·체계화하여 10가지형태로 축약한 "EV 지식체계(Earned Value Project Management body of Knowledge)"를 제시하였다.[5]

한편, EVMS의 핵심인 프로젝트 내부 정보 분석과 예측기능의 신뢰성에 관한 연구 또한 아주 활발하게 이루어졌다. 그중 Southern Utah University College of Business의 David S. Christensen(1993)은 그가 미 공군기술연구소(Air Force Institute of Technology)에서 EV 관련 업무를 담당했던 경험을 바탕으로, 비용성과지수(이하 CPI), 공정성과지수(이하 SPI)와 같은 실행성과지수(Performance Index)들을 이용하여 비용관리측면의 최종공사비예측(이하 EAC)에 관한 연구들을 수행하였다. 특히 미

---

3) Fleming, Quentin W. and Koppelman, Joel M. "Earned Value Project Management", Project Management Institute, 2000 pp80~82.

4) ①Abba, Wayne F, "Cost/Schedule Control System Criteria White Paper", Program Manager, 15:45-47, 1986
②Cole, 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

5) Fleming, Quentin W. "The Earned Value Body of Knowledge(EV-BOK)", www.QuentinF.com, 1998

해군(US. NAVY)의 Aviation Project인 A-12 Program이 계약자의 최종 개발비용에 대한 지나친 낙관으로 인해 실패한 경험과 관련하여 다양한 형태의 지수(Index)를 사용하여 EAC를 분석하는 방법에 대해 많은 연구를 수행하였다.

EVMS와 관련하여 국내의 경우, 1999년도부터 국내건설현장에 낙후된 건설관리기술을 개선하고 효율적인 프로젝트관리를 위해 EVMS 도입을 위한 소개가 본격적으로 이루어졌으나, 몇몇 기업에서는 이미 중동이나 동남아 등지의 해외공사와 미공병단(COE)발주공사, 일부 국책사업 참여 등을 통해 EVMS의 이전형태인 C/SCSC나 EVMS개념의 CPR(Cost Performance Report)/CSSR(Cost Schedule Status Report)에 의한 일정·비용통합관리에 대한 경험을 가지고 있다. 하지만 실질적으로는 짧은 도입기간과 제한적인 적용으로 인해 EVMS에 의한 프로젝트관리경험이 극히 적어 기술적인 분석이나 개선안에 관한 연구가 일천하다. 또한 최근 도입활성화에 따라 연구·발표된 EVMS관련 국내 연구결과물들은 정책적인 측면과 일정과 비용을 통합하는 방향과 전산화를 위한 정보 분류체계, 그리고 최종공사비(EAC)분석에 관해서만 어느 정도 이루어졌다.

최윤기(1999)는 공사실적을 정확하게 파악하기 위해 일정과 비용을 통합한 건설공사진도율 측정기준 및 그에 따른 진도율을 산정할 수 있도록 건설공사 진도율산정 시스템개발에 대한 연구를 수행하였고[6], 김양택과 현창택(2000)은 Work Packaging Model을 개선을 통하여 국내 건설현장에 적합한 공정-공사비 통합모델을 구축하는 방안에 관한 연구를 수행하였다[7].

또한 김선규와 김재준(2000)은 EVMS의 최종공사비 예측(EAC)모델이 국내 건설환경에 적합한지에 대한 여부와 신뢰정도를 검정하고자 다양한 성과지수(Performance Index)를 사용하여 국내건설현장에 대한 비교성과 분석을 시도하였다.[8]

---

6) 최윤기, "일정과 비용을 통합한 건설공사 진도율 산정시스템", 박사학위논문, 서울대학교, 1999

7) 김양택, 현창택, "Work Packaging Model의 개선을 통한 공정 - 공사비 통합모델 구축",건설관리학회지 한국건설관리학회, 제1권 제4호(통권 제4호), 2000, pp.82-90

8) 김선규, 김재준, "EVMS 최종공사비 예측 모델 최적성과지수에 대한 고찰", 건설관리학회

<표 1.1> EVMS관련 주요 연구현황

연구 분야	국 외	국 내
일정·비용 통합모델 구축 관련	CII(1987), Abudayyeh and Rasdorft(1991) Nevins, Roland and O'Relly(1993)	김우영·김옥규·최윤기·이현수(2002), 송창영·유붕열·이수곤(2002), 대림기술정보(2002)
EV 프로젝트의 비용·작업계획 수립 및 운영	Frank D. Postula(1991) U.S. DOD(1993) W. Fleming & Koppelman(2000)	김영재·김경래· 김선규·이양호(2002)
소프트웨어이용 EV적용 관련	W. Fleming & 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)

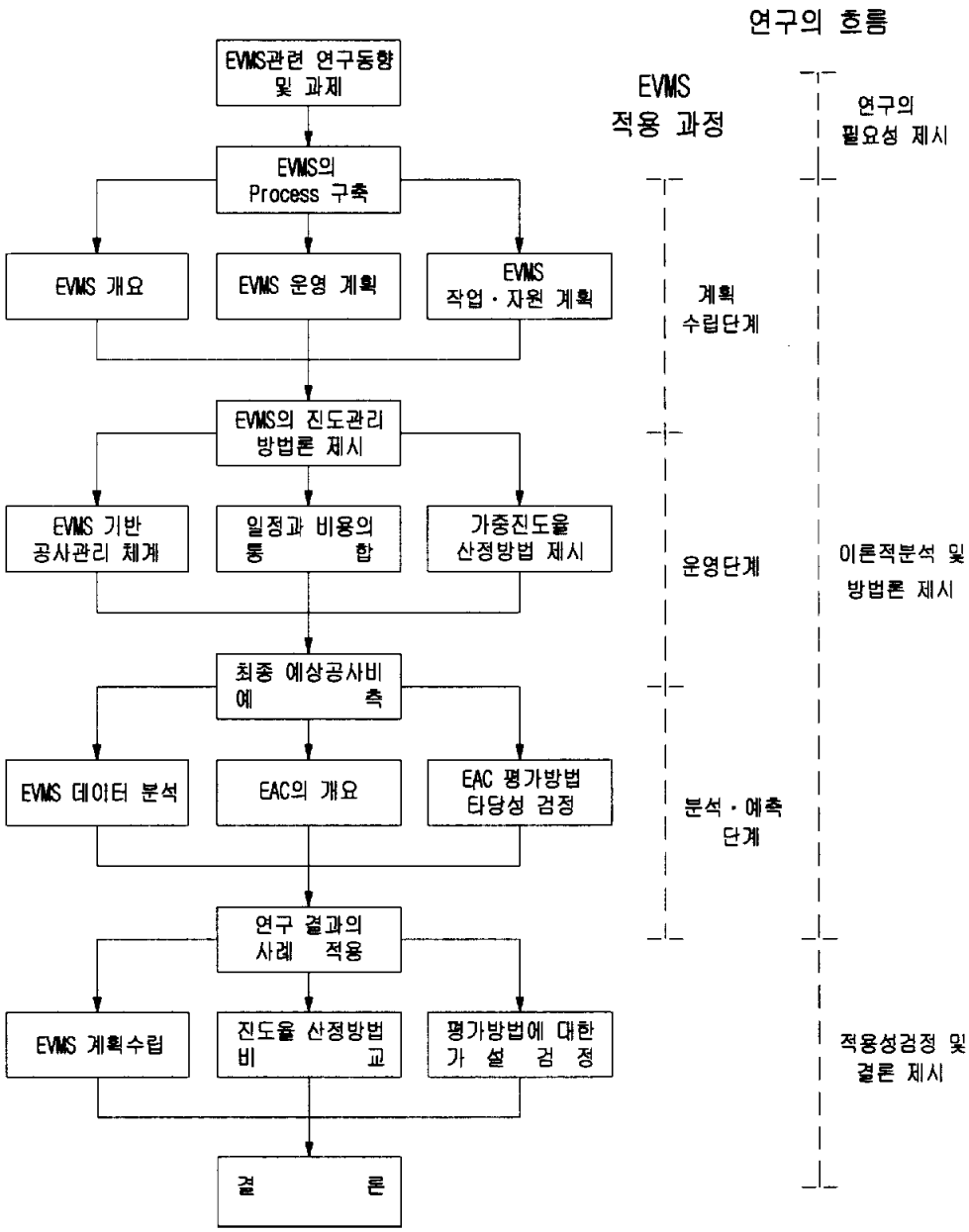
이상의 연구 동향을 분석해 보면 국내의 EVMS 관련 연구는 단순히 EVMS라는 프로젝트 관리시스템을 국내에 소개하는 수준에 머물러 있는 것이 사실이며, 이는 국내의 현실이 EVMS를 적용하기에는 한계가 있어 실제 적용할 수 있는 현장이 제한적인데 그 원인이 있는 것으로 판단된다. 따라서 EVMS를 국내 건설 프로젝트에 원활히 적용하기 위해서는

한국건설관리학회, 제1권 제3호(통권 제3호), 2000, pp.101-107

EVMS를 국내 건설 프로젝트에 적용·운영하기 위한 다양한 방법론적 연구가 선행되어야 할 것으로 보인다.

이에 본 연구에서는 EVMS를 국내 건설 프로젝트에 적용하여 원활하게 운영할 수 있도록 하는데 연구의 초점을 맞추고자 한다.

EVMS를 적용하는 과정은 크게 계획, 운영, 예측의 3단계로 구분할 수 있으며, 따라서 본 연구에서는 EVMS의 운영과정 각 단계별로 국내 건설 프로젝트 적용에 걸림돌이 되고 있는 각 문제점들에 대하여 적절한 해결방안을 제시하고자 한다. 이는 기존의 연구에서 깊이 있게 다루지 못하였던 국내 건설 현장에 적합한 프로젝트 운영의 방법론적인 측면의 연구를 통하여 국내 현실에 적합한 EVMS 운영 방법을 제시하기 위함이다. 연구의 세부적인 운영 방법과 내용은 <그림 1.1>과 같다.


연구의 흐름
EVMS관련 연구동향 및 과제
EVMS의 Process 구축
EVMS 개요
EVMS 운영 계획
EVMS 작업·자원 계획
EVMS의 진도관리 방법론 제시
EVMS 기반 공사관리 체계
일정과 비용의 통 합
가중진도율 산정방법 제시
최종 예상공사비 예 측
EVMS 데이터 분석
EAC의 개요
EAC 평가방법 타당성 검정
연구 결과의 사례 적용
EVMS 계획수립
진도율 산정방법 비 교
평가방법에 대한 가 설 검 정
결 론
EVMS 적용 과정
계획 수립단계
운영단계
분석·예측 단계
연구의 필요성 제시
이론적분석 및 방법론 제시
적용성검정 및 결론 제시

<그림 1.1> 연구의 흐름도

1.3 연구방법 및 범위

국내 건설 현장에 EVMS기법을 적극적으로 도입하여 활용하기 위해서는 개선해야 할 사항이 적지 않다. 본 연구에서는 EVMS의 원활한 운영을 위하여 필요하다고 판단되는 여러 가지 개선 사항 중 크게 세 가지 사항에 대하여 연구하고자 한다.

본 연구의 범위는 다음과 같다.

첫째, EVMS의 개념을 정립하고 프로젝트의 계획 수립과정을 중심으로 일정·비용 통합관리 시스템의 적용 절차를 제안

둘째, 국내 내역 위주의 관리 여건에 맞으면서 일정과 비용 정보를 동시에 할당할 수 있는 단위 작업 분할 방법 및 서로 상이한 일정과 비용 정보의 통합을 위한 분류 체계 개념을 제시하고, 분할 된 각 단위작업의 진도율 산정방법을 제시

셋째, 국내 건설공사를 대상으로 사업진도율 20%시점과 최종시점에서의 비용편차(이하 CV)와 비용성과지수(CPI), 공정편차(이하 SV)와 공정성과지수(SPI)가 현실적인 공정과 비용을 측정하는데 유용하게 사용되고 있는가에 대한 타당성을 통계적 방법을 이용하여 검정하고, 국내 건설공사에 적절한 최종 예상공사비 평가방법을 제안

본 연구의 수행 방법은 다음과 같다.

첫째, 국내외 EVMS관련 참고문헌과 연구보고서, 적용사례 등을 수집·분석하여, 국내 도입과정의 문제점을 도출하여 프로젝트의 계획 단계에서부터 적용 가능한 관리시스템 구축 방안을 검토 한다.

둘째, 지속적인 현장방문과 프로젝트 실무담당자와의 의견교환을 통해 EVMS가 국내 건설 현장에 유연하게 적용될 수 있는 방안을 모색

하고 공정관리 프로그램을 이용하여 일정계획을 수립하는 방안을 제시한다.

셋째, EVMS 운영 환경 및 적용 환경상의 문제점을 파악하고, 건설사업에 필수적인 진도율 산정 방법에 대한 기존 연구를 고찰하여 국내의 내역관리 위주의 사업관리 여건에 맞는 단위작업 분할 방법과 분할된 단위작업에 일정과 비용 정보를 할당하여 일정과 비용을 통합하여 진도율을 관리 할 수 있는 방법을 제시한다.

넷째, 실적자료 분석과 최종 예상공사비 예측 방법에 대한 문헌조사 및 분석을 수행하여 최종 예상공사비의 조기 예측을 평가하기 위한 연구가설을 세우고 가설검정에 필요한 프로젝트 사례를 대상으로 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 최종 예상공사비가 정확하게 예측되었는가에 대한 평가 도구로서의 타당성을 검정하고 EAC평가방법을 제안한다.

다섯째, 마지막으로 본 연구의 범위에서 제안 하였던 모든 사항들에 대하여 실제 프로젝트에 적용하여 연구의 결과를 분석 하고 검정토록 한다.

2. 일정·비용 통합관리 시스템의 프로세스 구축

2.1 EVMS의 개요

2.1.1 EVMS 개념과 발전

EVMS(Earned Value Management System)이란 프로젝트의 일정과 비용을 통합하여 수립한 계획(Planned Value)에 대하여 투입된 실제비용(Actual Cost)과 실적(Earned Value)을 비교함으로서, 프로젝트의 진도를 측정·관리하는 방법을 의미한다.

이 개념은 일찍이 미국의 산업공학자들에 의해 처음으로 등장하게 되었다. Fredrick W. Tayior, Frank and Lilian Gilbreth, Henry Lawrence Gantt 등 과학적인 관리방법을 연구하던 산업공학자들은 산업현장에서 실행성과를 측정하기 위해 계획기준(Planned Standard)과 실제비용(Expenses)을 실적기준(Earned Standard)과 비교 측정함으로서 작업(Work)의 성과효율을 평가하고자 하였고, 이러한 결과로 3차원적인 형태의 기본적인 EVMS가 처음 등장하게 되었다.

이후 1950년대에 이르러 미 해군에 의해 새로 발주되는 구매프로젝트의 논리(Logic)를 평가하고 실제적으로 계획의 목표달성이 가능한지를 통계적 확률을 통해 분석하고자 흐름도 형태의 네트워크공정관리기법인 PERT가 등장하게 되었다. 그러나 이 PERT는 통계적인 확률측면을 아주 강조한데 반해, 그러한 분석과정들을 처리할만한 컴퓨터시스템과 같은 연산 장치가 개발되지 않아 일부 정부발주프로젝트를 제외하고 민간산업분야에서는 그다지 활성화되지 못했다.

또한, 오늘날 PERT라는 용어는 단지 네트워크 공정표를 묘사하는 총칭적인 의미로만 사용되고 있으며, 선행다이어그램(Precedence Diagram Method : PDM)이라고 불려지는 것이지, 실제 개발 당시의 PERT의 개념이 아니다. 또한 동시대에 개발된 CPM(Critical Path Method)에 비해

그다지 성공적으로 활용되지 못했다.

1962년, 이러한 PERT이론을 바탕으로, 프로젝트의 일정네트워크에다 자원(Resource)을 배정한 개념의 한 단계 진보한 형태의 PERT/cost가 나오게 되었다. 그러나 이러한 시도(Experiment)는 전산시스템의 발전이 없는 상황에서 오히려 문제들을 더 복잡하고 난해하게 만들고 말았다. 하지만 여기에서 중요한 점은 PERT/cost가 오랜 기간동안 지속되지는 않았지만 EV개념을 가지고 있었다는 것이다. PERT/cost는 단지 3년간의 단명으로 사라졌다. 그러나 PERT/cost는 우리에게 "프로젝트의 주기 동안 실제비용성과를 모니터링하기 위해 EV 자료를 사용 한다"는 중요한 유산을 남겨 주었다.

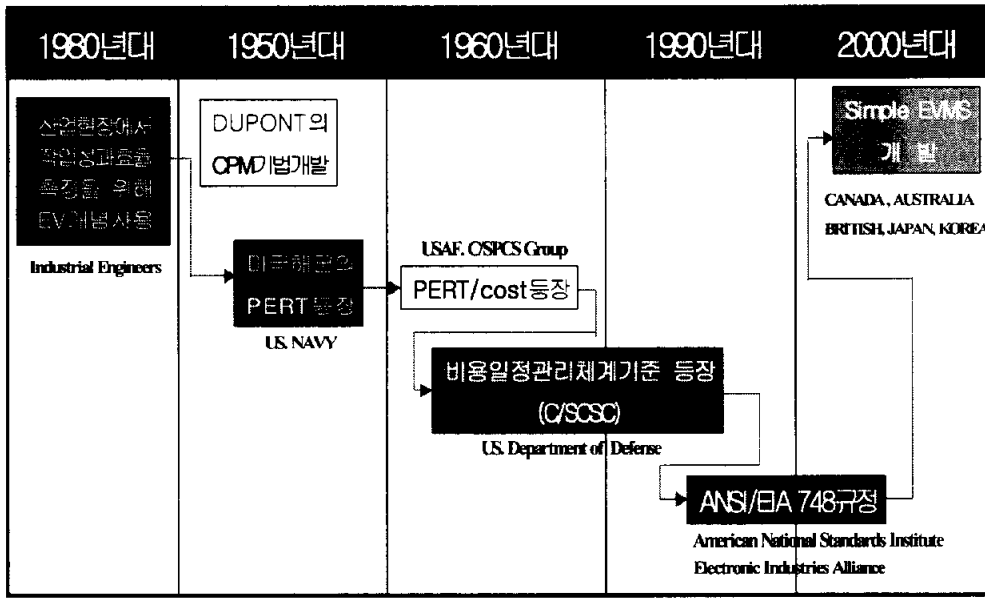
이러한 경험을 바탕으로 미니트맨(Minuteman)미사일개발 프로그램에 EV개념이 최초로 적용되었고, 1967년 12월, 미 국방성(DOD)에 의해 35개 조항으로 구성되어 있는 일정·비용관리체계기준(Cost/Schedule Control Systems Criteria; C/SCSC)이 만들어졌다. 이 C/SCSC는 미 정부의 새로운 구매조달프로젝트에 대하여 실행성과의 일관성과 보고체계를 위해 민간산업의 프로젝트관리시스템과 대응되는 35개의 승인기준들로 구성되었다. 이 기준들은 정부발주 주요 구매프로젝트에 비용증대의 가능성(Risks)이 상존할 때마다 프로젝트 참여자들에게 요구되어졌고, 실비정산(Cost-Reimbursable) 또는 인센티브(Incentive)형태의 계약방식에 사용되었다.

이 C/SCSC의 기준들은 30년이 넘는 기간동안 미 국방성(DOD)의 많은 프로젝트들을 통해 상당한 양의 체계적인 지식으로 발전되어왔다. 그러나 비록 이처럼 많은 체계적인 지식과 경험들이 쌓였으나 C/SCSC안에서의 EV개념은 단지 정부에 의해 중대한 시스템을 구매 조달하는 데만 매우 제한적으로 사용되었을 뿐, 약간의 예외를 제외하곤 민간산업부문에서는 전적으로 받아들여지지는 못했다. 그 이유는 불행하게도, C/SCSC는

그 기준들이 처음 정의되던 1966년 당시의 처음목적과 상당한 거리가 있는 형식적인 해석이 약 30년 동안이나 지속되어왔던 것이다. 이는 C/SCSC를 실행하고, 보조적으로 사용하기 위해 만들었던 이행지침과 감독매뉴얼, 174가지의 질문들이 담겨져 있는 수행체크리스트들이 C/SCSC와 동등한 위치에서 제 멋대로 사용되었던 것이다. 이 개인적이고, 일관성 없는 해석들은 형식적인 절차와 보고가 계속해서 이루어지도록 만들었다. 이 체크리스트와 이행지침서, 감독매뉴얼을 고안해 냈던 개발자들은 단지 지침서로서, 프로젝트 관리자의 경험과 전문적 판단을 통해 사용되어 지도록 의도했을 뿐이었지만, 이런 의도와는 관계없이 오랜 수행과정동안 최초의 35개의 기준들과 동등한 위치로 격상이 되어 사용되어져 왔다.

그 후 30년 가까이 지속된 C/SCSC는 1995년 4월 18일 애리조나의 피닉스에서 열린 국가방위산업협회(NDIA) 산하 관리시스템 소위원회의 정례모임에서 전술했던 바와 같은 형식적인 관리기준들이 아니라, 민간산업에 실질적으로 적용할 수 있는 형태의 EV기준들을 개발할 것을 요구하였다.

이러한 요구들에 의해, 35개의 기준들을 전면 재검토되어져 1998년 7월, 마침내 민간산업에 적합한 32개의 기준들을 가진 산업용 EVMS가 「ANSI/EIA-748 규정」이라는 이름으로 미국표준협회(ANSI)와 전기협회(EIA)에 공식적인 민간표준으로 승인을 얻게 되었다.



<그림 2.1> EVMS 개념의 전개

2.1.2 EVMS의 용어

건설산업에 EVMS를 도입하여 보다 용이하고 효율적으로 프로젝트를 관리하려는 의도와는 달리 EVMS는 계약조건과 형태, 건설환경의 변화 등 여러 복잡한 문제들로 인해 활발하게 적용이 이루어지지 못했다. 그중 복잡한 용어의 사용 또한 도입을 검토하는 과정에서 초기 어려움 중의 하나였다.

<표 2.1> EVMS기법에 사용되는 용어

구 분	용 어	약 어
계획공사비	Budget Cost for Work Scheduled	BCWS
실적진도	Budget Cost for Work Performed	BCWP
실투입비용	Actual Cost of Work Performed	ACWP
공정편차	Schedule Variance	SV
비용편차	Cost Variance	CV
공정성과지수	Schedule Performance Index	SPI
비용성과지수	Cost Performance Index	CPI
잔여성과지수	To Complete Performance Index	TCPI
최종예상공사비	Estimate at Completion	EAC
목표(계약)공사비	Budget at Completion	BAC
최종공사비편차	Variance at Completion	VAC
작업분류체계	Work Breakdown Structure	WBS
비용분류체계	Cost Breakdown Structure	CBS
조직분류체계	Organization Breakdown Structure	OBS
복합작업	Work Package	WP
관리계정	Control Account Plan	CAP
실행측정기준선	Performance Measurement Baseline	PMB

1996년 12월 미 국방성(DOD)은 C/SCSC를 취소하고, 민간산업의 EVMS를 받아들이면서 수년간 사용해왔던 BCWS(Budgeted Costs for Work Scheduled)와 BCWP(Budgeted Costs for Work Performed)라는 용어대신에 사람들이 이해하기 쉽고 간단한 용어인 PV(Planned Value)"와 EV(Ender Value)로 대체하고자 하였다.[9] 이는 초기생성단계의 EV개념에 사용되었던 Planned Standard와 Earned Standard처럼 복잡한 용어를 사용하지 않고도 간단하면서도 그 의미를 분명하게 전달할 수 있었기 때문이었다.

그러나 국내의 경우에는 EVMS 도입과정에 용어의 사용과 관련하여 심도 깊은 논의가 이루어지지 않아 이전에 C/SCSC에서 사용해왔던 복잡한 용어들을 여과 없이 그대로 사용하고 있는 실정이다. 따라서 보다 간단하고, 이해하기 쉬운 용어를 사용하는 것이 EVMS의 조기 정착에 더 도움이 될 것이다.

<표 2.2> EVMS 사용용어의 통일제안

용어정의	변 경 전	변 경 후
계획공사비	BCWS (Budget Cost for Work Scheduled)	Planned Value
실적공사비	BCWP (Budget Cost for Work Performed)	Earned Value
실투입비용	ACWP (Actual Cost of Work Performed)	Actual Cost

[9]EIA Engineering Dep, "Earned Value Management Systems(ANSI/EIA-748)", EIA, 1998, pp.5-7

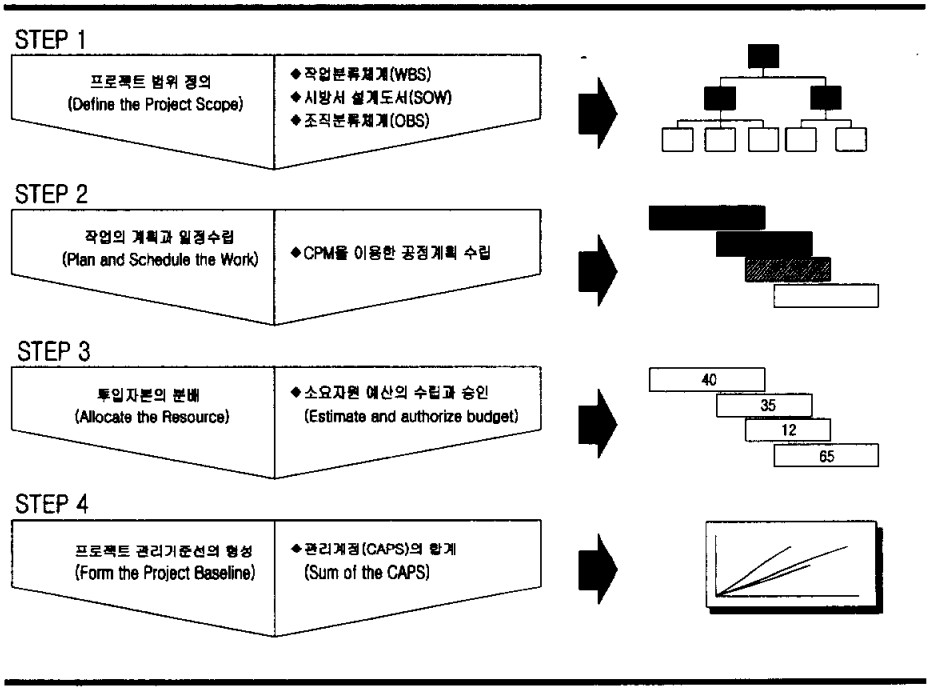
2.1.3 EVMS의 계획 수립절차

EVMS의 프로젝트 계획 수립절차는 <그림 2.2>와 같이 다음의 순서를 따라 진행된다.

(1) 프로젝트의 작업범위에 대해 작업분류체계(WBS)를 사용하여 작업에 대한 설명(Statement)과 범위(Scope)를 정의하고, 작업을 실행하는 담당 조직을 할당한다.

(2) 다음으로 정의된 작업범위에 대해 계획을 수립하고, 세부적인 복합작업(Work Package)수준 또는 단일작업(Task)수준으로 네트워크다이어그램(CPM)을 이용하여 공정계획을 수립한다.

(3) 마지막으로, 프로젝트에 요구되는 자원들(Resources)을 견적(Estimate)하고, 공식적인 프로젝트 예산(Budget)으로 반영한다.



<그림 2.2> EVMS에 의한 계획수립 절차

그러나 이러한 적용순서는 종종 그 순서가 뒤바뀌기도 한다. 이는 프로젝트 조건과 상황에 따라 투입자원들의 사용이 제한되는 경우가 발생하기 때문이다. 이러한 경우에는 먼저 프로젝트의 작업계획을 수립한 다음, 투입자원의 사용제약여부에 따라 프로젝트 자원계획을 우선적으로 수립하고, 마지막으로 작업에 대한 일정계획을 수립한다.

<표 2.3> EVMS의 단계별 주요 업무

구 분		내 용	참 고
단계1	프로젝트 범위 정의 (Work Scope)	· 프로젝트를 작업분류체계(WBS)를 사용하여 명확하게 분류하고, 작업간의 범위를 정의함 · 작업을 수행할 담당기능조직(OBS)과 연결	WBS SOW OBS
단계2	프로젝트 일정계획 (Plan & Schedule)	· CPM 방식의 일정관리시스템을 이용 일정계획 수립	CPM
단계3	프로젝트 예산수립 (Estimate & Budget)	· 프로젝트에 요구되는 자원수량을 파악하고, 프로젝트 전체 예산을 수립 (견적자료는 변화가 있을 때마다 변경)	CAP,
단계4	관리기준선 작성 (Baseline)	· 각 관리계정을 누적 · 합산하여 관리기준선 설정 · 관리기준선 작성 시 미확정 항목은 설계진행에 따라 상세내역으로 분개하여 계획하는 단계별 계획기법을 사용	PMB
단계5	진도 관리 (Monitoring)	· 공정 · 비용편차(Schedule & Cost Variance) · 공정 · 비용지수(Schedule& Cost Performance Index)	CPI SPI
단계6	프로젝트 예측 (Forecasting)	· 실적자료(EV data)를 이용 최종공사비 예측 · 일정의 증가량을 예측	EAC VAC TCPI

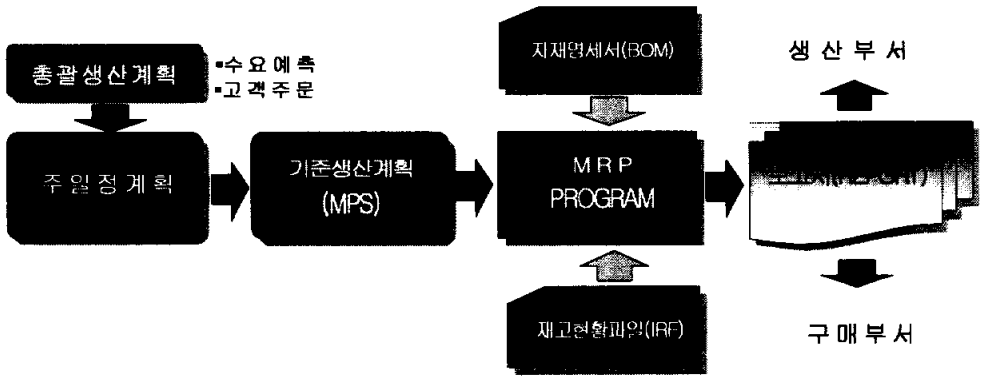
2.2 프로젝트의 작업 자원 · 자원 계획

2.2.1 MRP의 개념

(1) MRP의 개념과 정의

MRP(Material Requirement Planning)는 제조 산업에서 조립제품의 주문, 또는 생산계획을 수립할 때 사용하는 재고관리시스템이다. 이 MRP의 목적은 최종 조립제품들이 일정계획에 따라 완성이 될 수 있도록 종속부품과 원자재들을 언제, 얼마나, 어느 시기에 발주하여 조달, 제조되어야 하는가를 결정하는데 있다. MRP는 복잡한 제품을 구성하는 부품의 수요량뿐만 아니라 벌크(Bulk)자재, 현장 생산 작업에 이르기까지 시간단계별 소요계획을 수립할 수 있다.[10]

본질적으로 MRP는 많은 양의 데이터가 저장되고 처리되는 전산정보시스템과 같다. 이를 효과적으로 수립하고 운영하기 위해 기준생산계획(MPS), 자재명세서(BOM), 재고상태기록서(IRF) 등과 같은 보조적인 장치가 필요하다. 이러한 보조 장치들로부터 필요한 자재의 양과 시간에 대한 정보를 받아서 계획과 운용이 이루어지는 것이다.



<그림 2.3> MRP시스템의 기본구조[11]

10) 정남기, 유철수, "CALS 시대 생산관리", 청문각, 1998

(2) MRP의 구성요소

MRP의 구성요소는 제품의 최종제품의 생산계획을 수립하는데 사용되는 기준생산계획(MPS), 투입자재나 부품의 구성형태를 나타내는 자재명세서(BOM), 그리고 자재의 재고기록을 유지하는 재고상태기록서로 이루어진다. 각각의 요소에 대하여 좀더 세부적으로 설명하면 다음과 같다.

① 기준생산계획(Master Production Schedule : MPS)

- MRP는 기준생산계획(MPS)에서부터 시작된다. MPS는 최종품목의 생산량과 시기를 미리 결정하여 수립한 일정계획으로 주문이나 예측 등에 의해 작성된 총괄생산계획에 기초하여 작성되게 된다.

② 자재명세서(Bill of Materials : BOM)

- BOM은 제품구조라고도 불리기도 하는데, 최종제품을 만들기 위해 원자재, 부품 등의 제조나 조립순서를 나타내는 도표이다. 이 BOM은 프로젝트의 작업을 분류하는데 사용하는 WBS와 같이 최종제품을 하향식(Top-down) 으로 분류(Breaking)하여 상호간의 계층적 관계를 나타낸다.

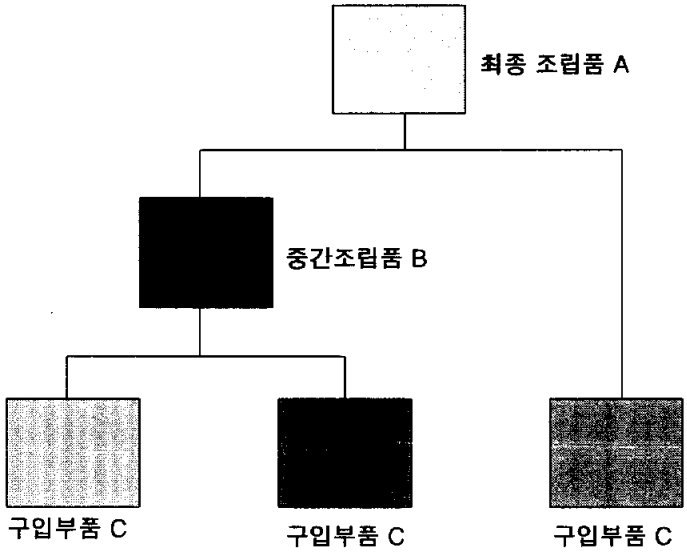
③ 재고상태기록서(Inventory Record File : IRF)

- 자재명세서(BOM)의 각 품목에 관하여 재고현황자료를 유지하기 위해 사용되는 것으로, 총 소요량, 예정량, 공급자 등 구성품목들의 모든 데이터를 유지하고 식별하는 역할을 한다.

---

11) 이명호, 유지수, "경쟁우위확보를 위한 생산관리", 박영사, 1999

BOM에 의한 소요자재의 분류와 제품 구조의 형성



MRP에서 사용되는 차트

품목 조달기간	5 월				
	1주	2주	3주	4주	5주
총 소요량					
입고 예정량					
순 소요량					
입고 계획량					
발주계획					

<그림 2.4> MRP 시스템의 구성

2.3.2 일정과 비용의 통합관리시스템

EVMS는 프로젝트의 일정과 비용 정보를 동시에 통합하여 계획·관리가 이루어지도록 의도되어졌다. 하지만 국내 건설 환경의 현실은 공사비 중심의 내역관리위주로 이루어지고 있으며, 공정관리의 정도는 기성을 확보하기 위한 보고와 유지만을 위해 형식적으로 운영되는 경우가 대부분이다.

이는 결국 부실한 관리와 투명성의 문제를 야기할 수 있다. 따라서 일정과 비용이 강한 연관성을 가지지 못하고 무시되거나 따로따로 관리되는 것을 막고, 현실적인 내역중심의 관리방식에서 한 단계 나아가 일정과 비용을 효과적으로 통합 관리하는 방안을 찾는 것이 아주 중요하다.

이에 본 연구에서는 간단한 건축공사의 사례를 가지고 EV개념의 프로젝트관리가 이루어질 수 있도록 일정·비용 통합 계획과정과 이를 토대로 얻어진 자료(Data)를 분석하는 과정을 제시하고자 한다.

(1) 사례 프로젝트의 선정

EVMS가 실제 국내에서 이루어진 사례는 아직까지는 미미한 수준이므로, 기존에 수행되었던 주상복합건물건축공사 프로젝트를 재구성하여 MRP기법을 이용, EVMS 절차에 따른 계획수립과정과 분석절차를 제안하고자 한다.

대상 프로젝트 현장을 선정한 이유는 계획 수립과정을 실제 프로젝트에 반영하여 서술함으로서 EVMS 계획 수립과정을 보다 충실히 서술해 가기 위함으로, 선정된 프로젝트는 전형적인 건축공사로 본 연구에서 제안하는 EVMS기법에 따라 프로젝트를 재구성하여 그 가능성을 검정하기에 적당한 형태의 프로젝트이다.

(2) 작업분류체계(Work Breakdown Structure : WBS)

새로운 프로젝트 계획을 수립하는데 있어, 첫 번째로 해야 할 일은 작업범위를 결정하고 분류하는 것이다. 일정·비용을 통합개념의 EV 프로젝트계획은 먼저, 작업분류체계(WBS)를 이용하여 프로젝트의 작업범위(Scope of Definition)를 한정하고, 공종별, 부위별과 같이, 단계별로 나누어진 작업들에 대해 실제 업무를 수행할 프로젝트조직을 연계하고, 수립된 비용정보를 바탕으로 자원을 할당하여 체계적인 작업·자원계획을 수립하는 것이다.

1960년대 초, 프로젝트 관리자들은 프로젝트를 효율적으로 관리하기 위해 새로운 도구(Tool)를 개발할 필요가 있다고 생각하여 기업의 조직도(Organization Chart)와 유사한 개념의 WBS라는 계층(Hierarchy)구조를 만들었다.[12] 이 작업분류체계(WBS)는 프로젝트의 작업들을 하향식(Top-down)으로 분류하여 각각의 작업들 간의 범위를 명확하게 해준다. 일반적으로 프로젝트의 발주자는 프로젝트의 완성정도에 따라 기성지급의 기준이 되는 주요시점(Milestone)들을 지정 하고자 할 것이다. 이를 위해 WBS를 사용하여 프로젝트의 작업들을 2-3수준으로 분할, 명확하게 정의하여 프로젝트관리자에게 제시한다. 또한 프로젝트관리자 역시 무작정 작업을 수행할 것이 아니라 작업과 비용, 일정의 통합을 통합한 프로젝트 관리가 이루어지기 위해 발주자가 제시하는 자료를 토대로 세부적이고, 기술적인 하위수준의 사업시행자용 작업분류체계를 가지는 것이 필요하다.[13]

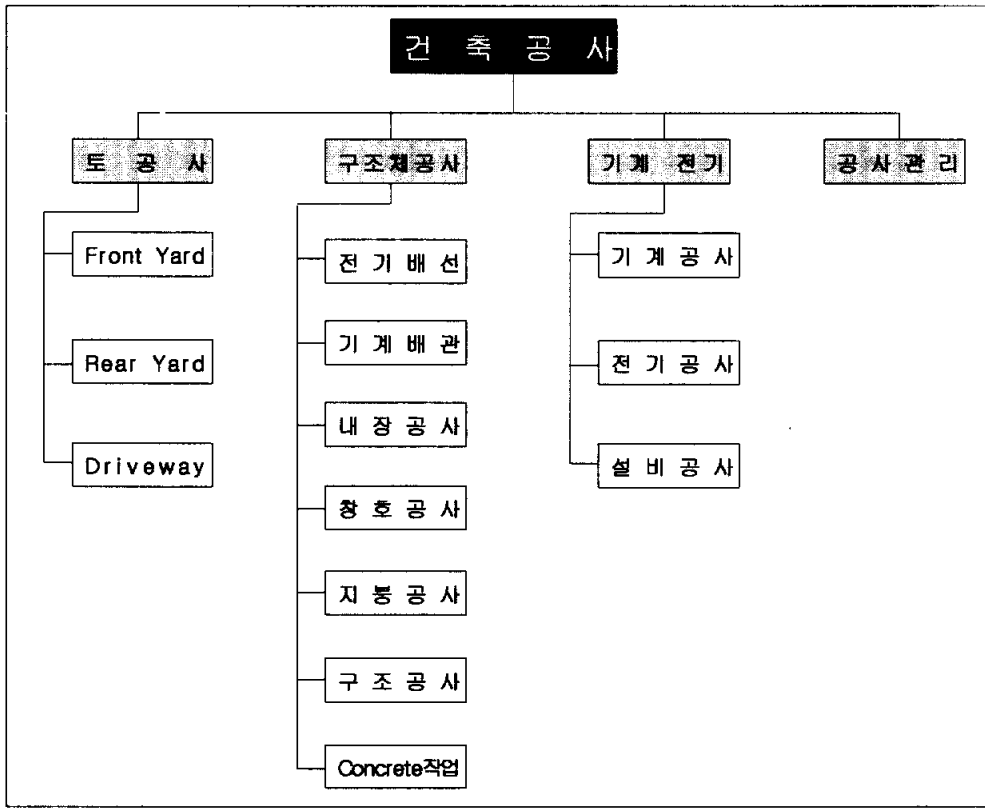
"어느 정도 작업을 세분화(detail) 할 것인가"라는 적정관리수준의 설정이 중요한데, 이는 적정한 관리수준(manageable level)을 설정해서 관리해야만 프로젝트를 효율적으로 수행할 수 있다는 것을 의미한다.

---

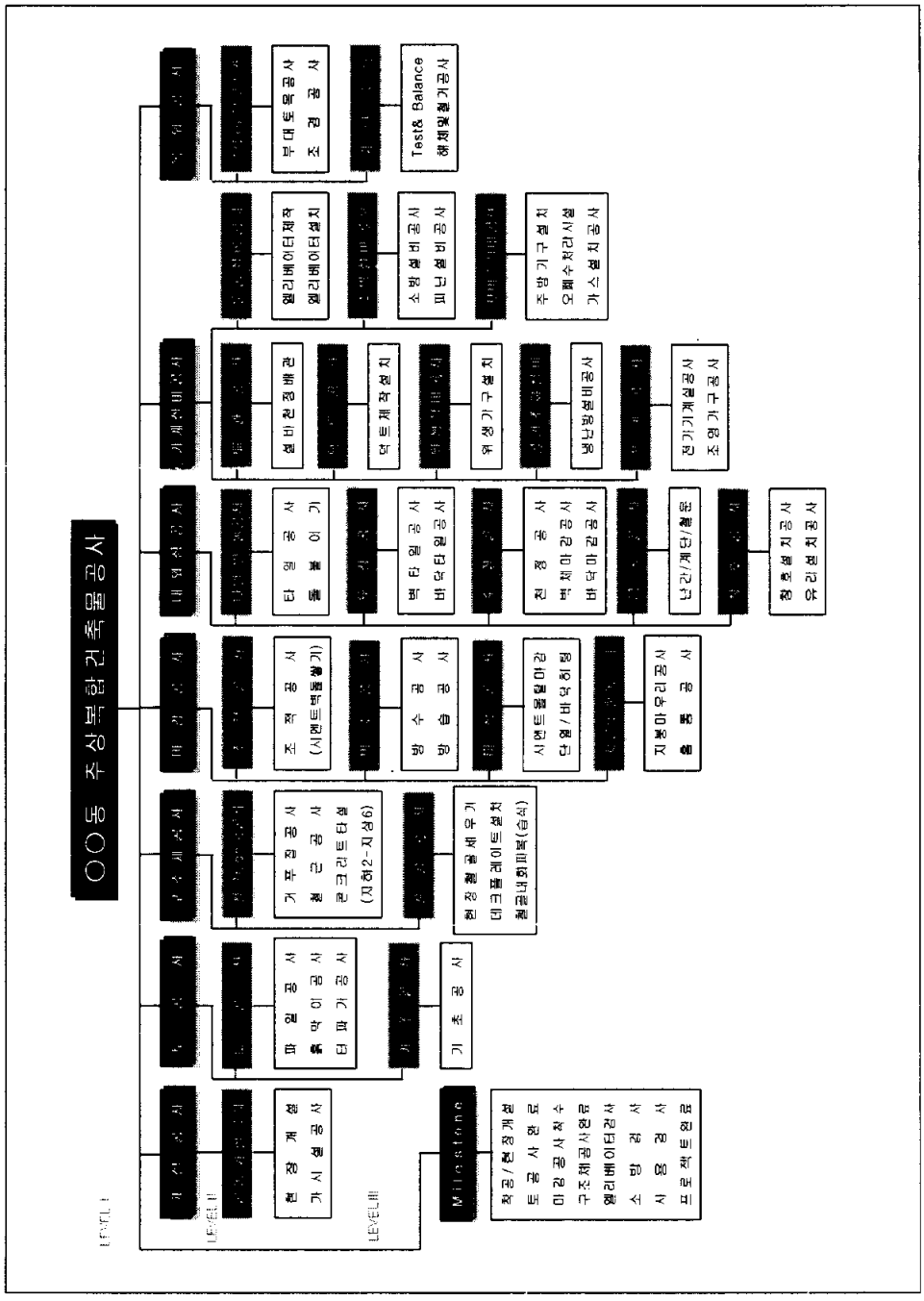
12) DOD, "Work Breakdown Structures for Defense Material Items", US. Military Standard881, 1993

13) Fleming, Quentin W., "Cost/Schedule Control System Criteria", PROBUS, 1992

<그림 2.5>는 건축공사의 개략적인 WBS로서 이를 바탕으로 하여 <그림 2.6>의 대상 프로젝트의 WBS를 구성 하였다. 대상 프로젝트의 WBS는 3단계로 구성 하였으며, 공정 순서에 따라 마일스톤을 지정 하였다. <표 2.4>는 건설교통부 제정 "수량산출기준"을 참고로 하여 대상 프로젝트의 공정을 분류한 표로 이를 기본으로 하여 EVMS의 계획 수립과정을 설명하도록 한다.



<그림 2.5> 일반적인 건축공사의 작업분류 체계



<그림 2.6> 대상프로젝트의 작업분류체계

<표 2.4> 수량산출기준을 참고로 작성한 공종분류코드의 예[14]

프로젝트 (LEVEL0)	대공종 분류 (LEVEL Ⅱ)	중공종 분류 (LEVEL Ⅲ)	Work Package (LEVEL Ⅳ)
주상복합건물 건축공사	가설공사(TE)	A 공통공사	A
	토 공 사(EX)	B 토 공 사	100 현장개설 및 가설공사
	구조공사(ST)	C 기초 및 지정 공사	
	마감공사(FI)	D 철근콘크리트공사	B
	내·외장공사(IN)	E 철골공사	100 터파기
	기계설비공사(ME)	F 조적공사	110 흙막이공사
		G 미장공사	120 파일공사
		H 방수공사	130 앵커설치
		I 지붕 및 홈통공사	
		J 타일 및 돌공사	C
		K 도장공사	100 기초공사
		L 수장공사	
		M 금속공사	D
		N 창호 및 유리공사	100 거푸집공사
		O 배관공사	110 철근및보강재공사
		P 덕트공사	120 콘크리트타설
		Q 위생설비공사	
		R 공기조화설비공사	E
		S 운송설비공사	100 철근현장세우기
		T 소방설비공사	110 데크플레이트 설치
		U 서비스설비공사	120 철근내화피복(습식)
		V 전기공사	
		W 부대토목공사	F
		X 조경공사	100 시멘트블록공사
		Y 해체 및 철거공사	110 조적부대공사
		Z 잡공사	
			G
			100 시멘트모르타르 바름
			110 바닥 히팅시스템
			120 모래 및 자갈 채우기
			H
			100 시멘트액체방수
			110 아스팔트 방수
			120 방수 보호재
			130 방습공사

14) 건설교통부, "건축공사·기계설비공사 수량산출기준", 2000.

2.3.3 복합작업의 활용

EVMS기법에서는 관리계정(CAP)이 적정관리수준으로 제안되지만 실제 프로젝트를 수행하는데 있어서는 상위수준인 관리계정(CAP)만으로 운영하기가 곤란하다. 따라서 하위수준인 복합작업(Work Package) 수준으로 공정관리가 이루어지는 것이 필요하다.

이 복합작업(Work Package)들은 하나이상의 작업(Task)들로 이루어진 패키지인데, 작업분류체계(WBS)의 최하위 수준에 해당되며, 실제 작업이 수행되는 수준(Level)이라 할 수 있다. 이 복합작업(Work Package)들은 WBS에 의해 분류된 상위수준의 부위별 혹은 공종별 작업들을 WBS dictionary를 참조하여 작업에 대한 설명과 함께 직접적인 단위보고가 이루어질 수 있는 수준으로 작성한다.

예를 들어, 아파트공사에 있어서 철근콘크리트공사는 크게 거푸집공사, 철근 및 보강재 공사, 콘크리트타설 등으로 이루어진다. 실제 공사를 수행하기 위해 이를 다시 각층별로 해당 층의 단위공사로 분할하여 공정표상에 하나의 액티비티로 반영하는 것이다. 이 때 이루어지는 단위공사가 바로 하나의 복합작업(Work Package)이다.

WBS는 작업의 범위를 정의하는데 아주 유용한 도구이다. 또한 이 WBS의 최하 단위인 복합작업(Work Package)이 실제작업이 수행되는 단위작업으로 여겨진다. 그러나 WBS에 의해 분류된 Work Package들이 명확한 구분이 이루어졌더라도 각각의 단위작업의 범위에 대한 상세한 설명을 담고 있지는 않다. 이를 위해 WBS dictionary를 사용하는데, 이 WBS dictionary는 전문 혹은 기술 시방서와 같은 것으로 프로젝트의 수행 작업들에 대하여 "기술적인 설명(Statement of Work : SOW)"을 담고있다. 또한 이 WBS dictionary는 작업분류에 의해 정의한 작업과 실제 작업을 수행 할 프로젝트매트릭스조직(Project-Matrix Organization)과 연관시키는데 사용한다.

이렇게 작성된 복합작업(Work Package)들은 프로젝트의 실행을 위해 네트워크 형태의 일정관리기법인 CPM(Critical Path Method)에, 각각이 하나의 단위작업활동(Activity)으로 반영이 되어 일정계획(Scheduling)을 수립하게 된다. <표 2.5>는 대상 프로젝트 중 설비배관공사에 대한 복합작업시트로 투입인원과 시간, 단가, 소요자재 등 작업에 대한 기본적인 계획 내용을 모두 포함 하도록 하였다.

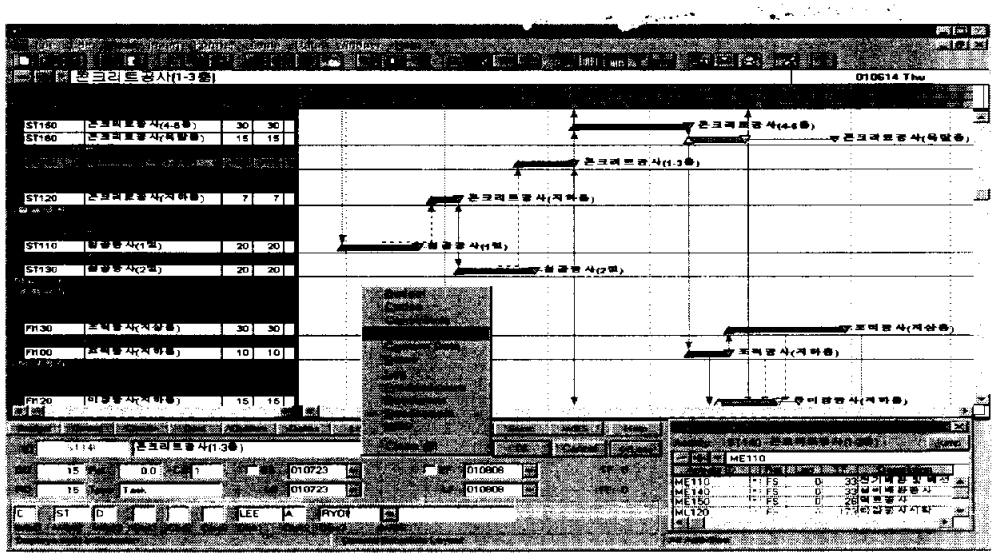
<표 2.5> 작성된 복합작업시트

<table>
<tr><td colspan="7">복합작업시트(Construction Work Package Collection Sheet)</td></tr>
<tr><td>코드
NO.</td><td>ME140</td><td>작업기간</td><td colspan="2">2001.8.9 -
2001.10.17</td><td>작 업 명</td><td>설비배관공사</td></tr>
<tr><td colspan="6">인력(Labor : L)</td><td rowspan="2">주 대상
작업</td></tr>
<tr><td>자원코드
(Code)</td><td>투입자원명</td><td>수량
(Quantity)</td><td>시간(Day)</td><td>단 가
(원/일)</td><td>총 비 용
(Total Cost)</td></tr>
<tr><td>L15
L07</td><td>배관공
설비공</td><td>3
2</td><td>20
20</td><td>51,000
49,000</td><td>306만원
196만원</td><td>배관용
파이프
설치공사</td></tr>
<tr><td colspan="6">자재(Material : M)</td><td rowspan="2">생산성
(Productivity)</td></tr>
<tr><td>자원코드
(Code)</td><td>설 명
(Description)</td><td>단위(Unit)</td><td>수량
(Quantity)</td><td>단 가
(Unit Cost)</td><td>총비용
(Total Cost)</td></tr>
<tr><td>M55
M67</td><td>파이프(3“)
커 플 링</td><td>(m)
EA</td><td>2250
350</td><td>3000
1200</td><td>675만원
42만원</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">장비(Equipment : E)</td><td rowspan="2">소요공기
(Duration)</td></tr>
<tr><td>자원코드
(Code)</td><td>투입장비명</td><td>요구수량
(Required Quantity)</td><td colspan="2">단가(원/8시간)</td><td>총비용
(Total Cost)</td></tr>
<tr><td>E32</td><td>커터
(Cutter)</td><td>1</td><td colspan="2">24,000</td><td>57.6만원</td><td rowspan="2">60</td></tr>
<tr><td colspan="2">비용요약(Cost Summary)</td><td colspan="4">1276.6만원</td></tr>
</table>

2.3.4 EVMS의 수행 프로세스

EVMS는 프로젝트의 효과적인 관리를 위해 일정과 비용을 통합한 형태로 계획수립과 진도관리, 그리고 분석이 이루어진다. 이를 위해 일정계획을 보다 정확하게 수립하는 것이 중요하다. EVMS기법에서는 CPM방식의 네트워크관리기법을 사용할 것을 권하고 있는데, 현행의 건설공사는 대규모, 장기간 등 복잡한 형태로 진행되고 있는 실정이라 이를 효과적으로 관리하는 도구가 필수적이다. 이는 수천 개 혹은 수만 개에 이르는 액티비티를 동시에 관리하고, 지속적인 업데이트(Update)과정이 필요한데, 이를 ADM(Arrow Diagram Method)방식의 네트워크로 수작업을 통해 관리한다는 것은 거의 불가능하므로, 컴퓨터를 바탕으로 하는 PDM(Precedence Diagram Method)방식의 공정관리가 필요하다.

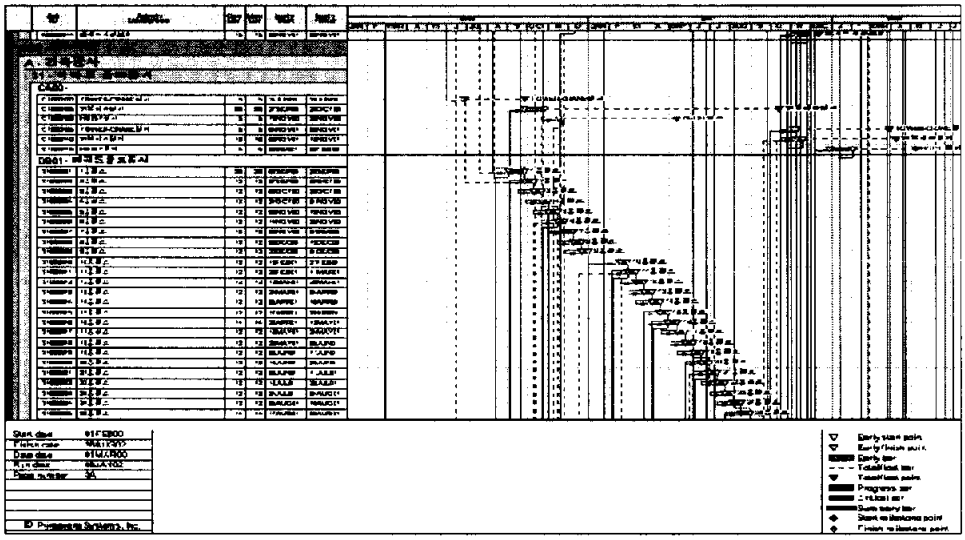
그러므로 본 연구에서는 현재 국내외의 건설공사에 널리 이용되고 있는 프리마베라 (Primavera)사의 Project Planner(P3)를 이용하여 일정계획을 수립하였다.



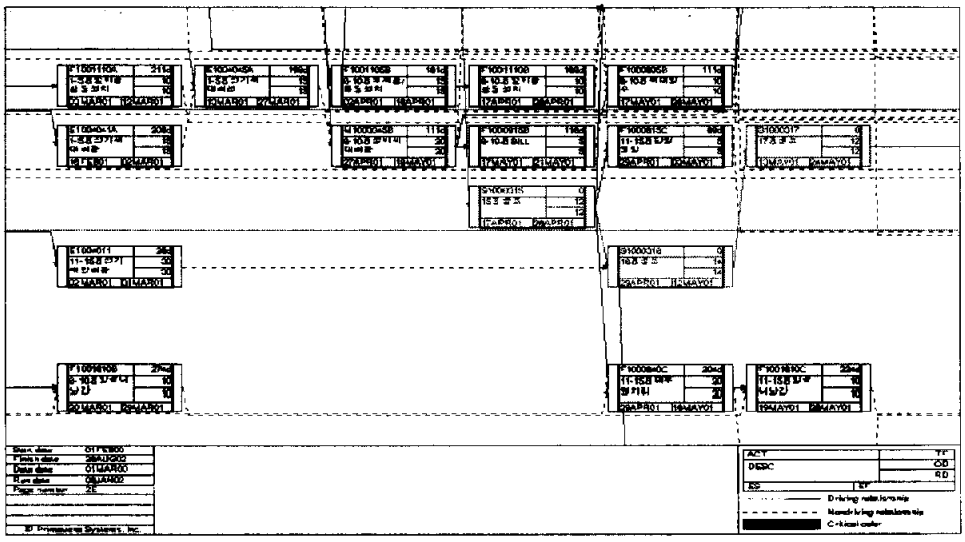
<그림 2.7> WBS의 Work Package를 바탕으로 한 Scheduling

(1)일정계획(Scheduling)의 수립

WBS에 의해 분류된 각각의 복합작업(Work package)을 주 대상으로 공정관리프로그램(P3)을 이용하여 대상프로젝트에 대하여 다음과 같이 세부 일정계획을 수립한다.



<그림 2.8> 공정관리소프트웨어(P3)에 의한 일정계획의 수립(Bar Chart)

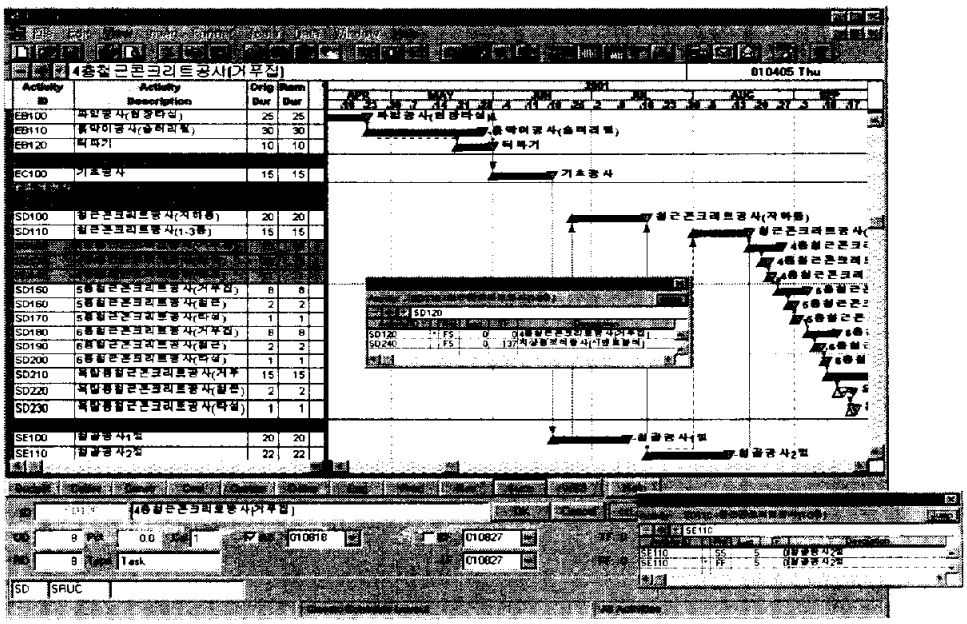


<그림 2.9> 공정관리소프트웨어(P3)에 의한 일정계획의 수립(PDM)

국내에 소개된 많은 공정관리소프트웨어 중 P3 공정프로그램은 막대형태(Bar-chart)의 공정도와 PDM방식의 공정도를 서로 호환되게 작성할 수 있으며, EVMS 보고가 가능하도록 만들어졌다.

그러나, 이 P3 프로그램은 일정과 비용을 통합하는 형태의 공정도를 작성할 수 있게 의도되어졌지만, 어렵고 복잡한 사용방법 때문에 아직까지는 보편적으로 활용되고 있지는 못하고 있는 실정이다. 특히 대규모의 복잡한 프로젝트를 관리하는 데는 상세 정도가 떨어지므로, 다른 보조적인 도구를 사용하여 관리하는 것이 필요하다. 여기에는 엑셀시트(Excel Sheet)를 사용하여 프로젝트의 입력데이터를 유지관리하는 방법이 흔히 사용된다.

P3에 의한 일정계획 작성방법은 WBS에 의해 작성된 각각의 Work Package들을 네트워크의 최소 단위인 액티비티로 입력한 후 선후관계를 고려하여 선행 작업과 후행 작업을 연결한다. 다음으로, 작업에 해당하는 자원들과 담당조직들을 할당한다.

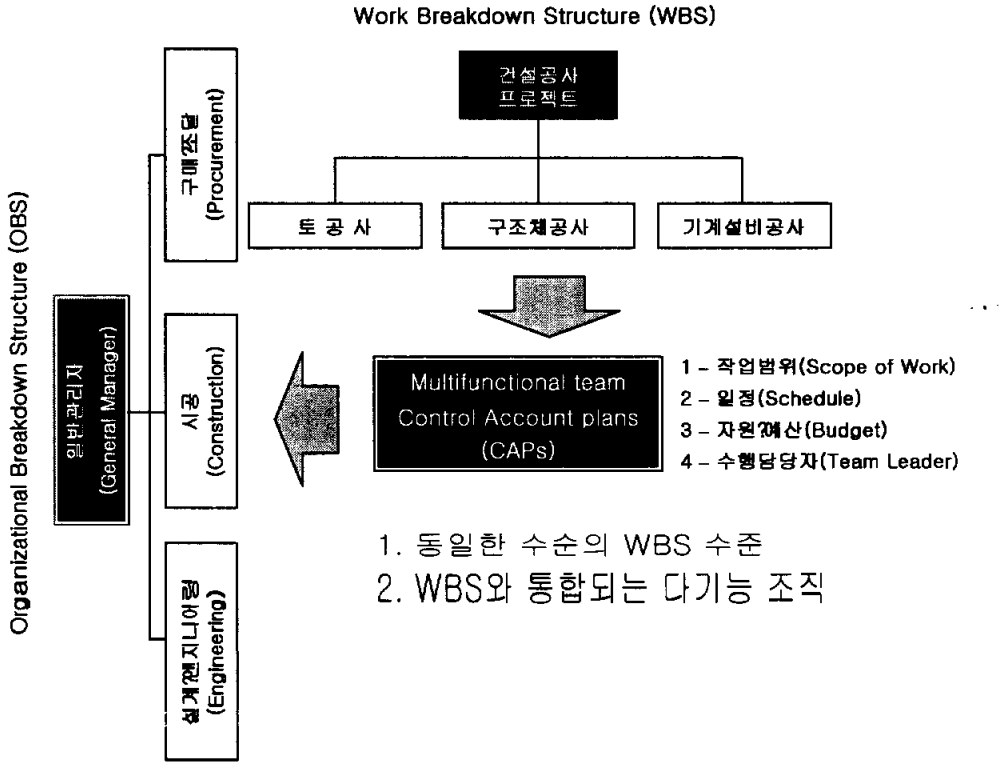


<그림 2.10> 입력창을 이용한 작업 선후관계입력

(2) 관리계정(CAP)의 작성

실제 공정과 비용 사이에는 상호 밀접한 관계가 있으며 프로젝트를 진행하는데 서로 영향을 준다. 그러나 현행공정관리와 비용관리는 별도로 구분되어 관리가 되고 있다. 이로 인해 현장에서 이루어지는 공무업무는 두 가지의 정보를 별도로 파악하여 관리해야 하므로 비효율적이다.

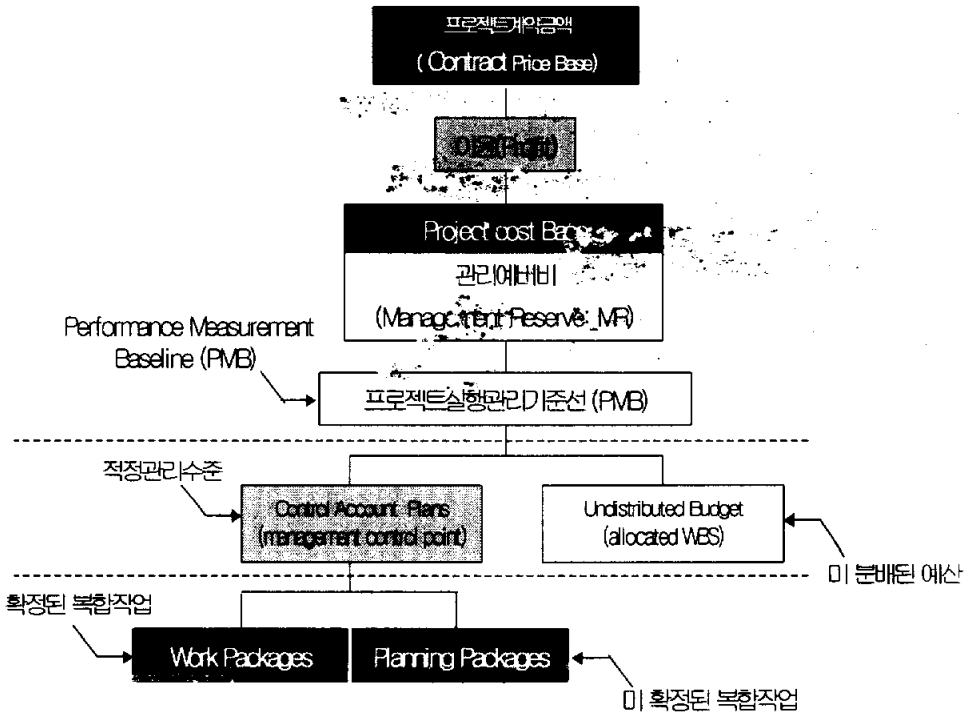
이러한 기존의 방법과는 달리 EVMS 기법에서는 WBS에 의해 분류된 작업들에 비용과 조직이 할당된 관리계정(Control Account Plan : 이하 CAP)을 사용할 것을 제안하고 있다. 이 CAP들은 최하위 작업(task)분류의 상위(Bottom-up)수준으로 집계한 것으로 EV프로젝트의 중점관리대상이다.



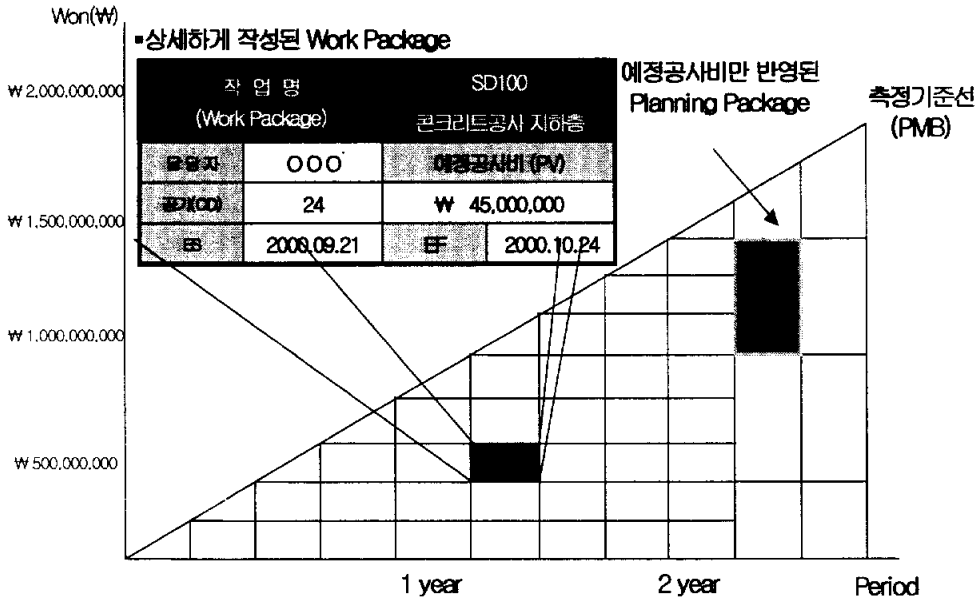
<그림 2.11> 관리계정의 작성

(3) 프로젝트의 실행관리기준선(PMB)의 형성

작업분류체계(WBS)에 의해 분류된 Work Package들은 비용분류체계(CBS)와 조직분류체계(OBS)등과 연동되어 프로젝트의 일정·비용의 통합관리 주 대상인 관리계정들(CAPs)을 형성하게 된다. 이러한 관리계정들(CAPs)은 각각 단위공사금액을 가지게 되며, 프로젝트의 일정에 따라 누적 합산하여 프로젝트의 실행관리기준선(Performance Management Baseline : 이하 PMB)을 형성한다. <그림 2.12>는 전형적인 프로젝트의 계약금액 즉 최종 예상 공사비의 구성 형태이며, <그림 2.13>은 PMB 구성을 도식화 한 것으로 각 CAP가 모여 PMB를 형성함을 보여 주고 있다. 각 관리계정에는 그림에서 보는 바와 같이 프로젝트의 수행에 필요한 정보가 모두 포함되게 된다.



<그림 2.12> 프로젝트 계약금액에 기반을 둔 비용 Category

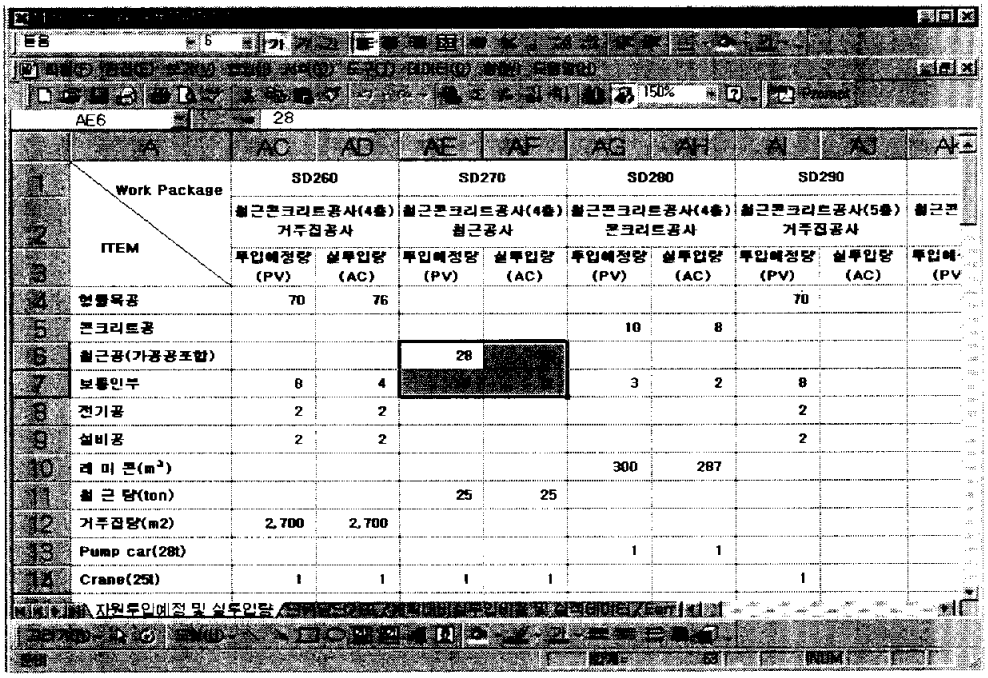


<그림 2.13> 관리계정에 의한 PMB 수립과정

2.3.5 EV 데이터시트의 작성

(1) MPS를 이용한 자원투입계획

MRP는 총괄계획을 바탕으로 기준생산계획(MPS : Master Production Schedule)을 수립함으로써 시작된다. 이 MPS는 일반 프로젝트의 대 일정계획(Project Master Schedule)과 같은 역할을 수행하는데, 여기서는 분류된 작업(Work)을 바탕으로 수량산출기준에 의하여 산정된 투입자원의 계획수량을 입력하고 이후 프로젝트의 진행에 따라 투입된 자원 값을 입력하여 계획과 실투입량을 비교하며 관리한다.



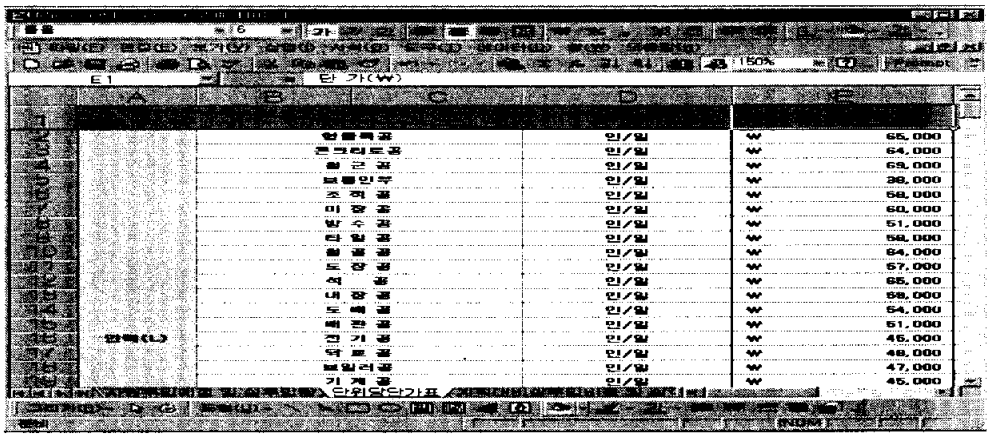
Work Package / ITEM	SD260		SD270		SD280		SD290		
	철근콘크리트공사(4층) 거주집공사		철근콘크리트공사(4층) 철근공사		철근콘크리트공사(4층) 콘크리트공사		철근콘크리트공사(5층) 거주집공사		철근콘
	투입예정량 (PV)	실투입량 (AC)	투입예정량 (PV)	실투입량 (AC)	투입예정량 (PV)	실투입량 (AC)	투입예정량 (PV)	실투입량 (AC)	투입예 (PV
형틀목공	70	76					70		
콘크리트공					10	8			
철근공(가공조합)			28						
보통인부	8	4			3	2	8		
전기공	2	2					2		
설비공	2	2					2		
레 미 콘(m^3)					300	287			
철 근 량(ton)			25	25					
거주집량(m2)	2,700	2,700							
Pump car(28t)					1	1			
Crane(25t)	1	1	1	1			1		

<그림 2.14> 자원의 투입계획량과 실투입량에 대한 관리시트(Sheet Ⅰ)

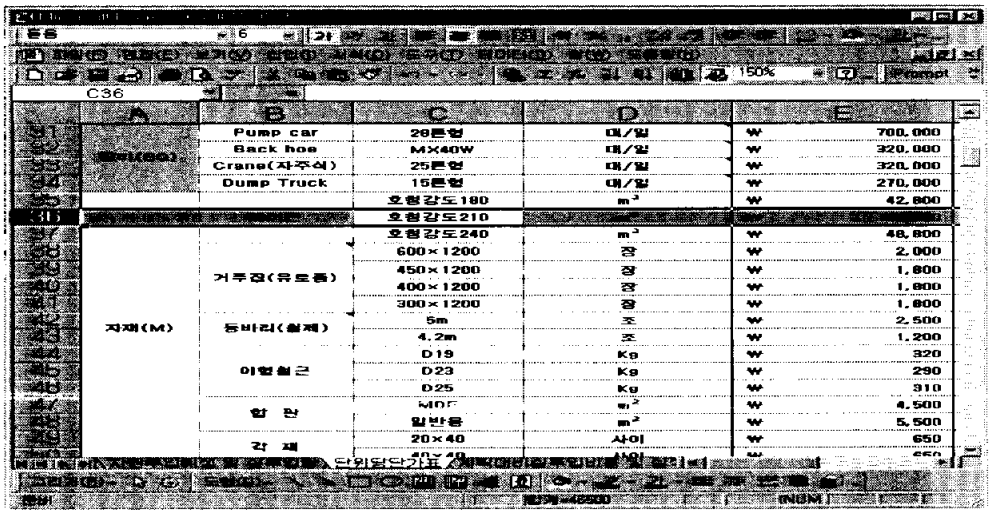
(2) 자원단가표와 EV 데이터 시트

계획 및 실투입공사비를 산정하기 위해 수량단위로 산출된 자원들을 인력(L), 자재(M), 장비(EQ)의 세 항목으로 구분하여 단가와 곱해져서 다음과 같은 EV 데이터 시트에 공사비로 반영된다.

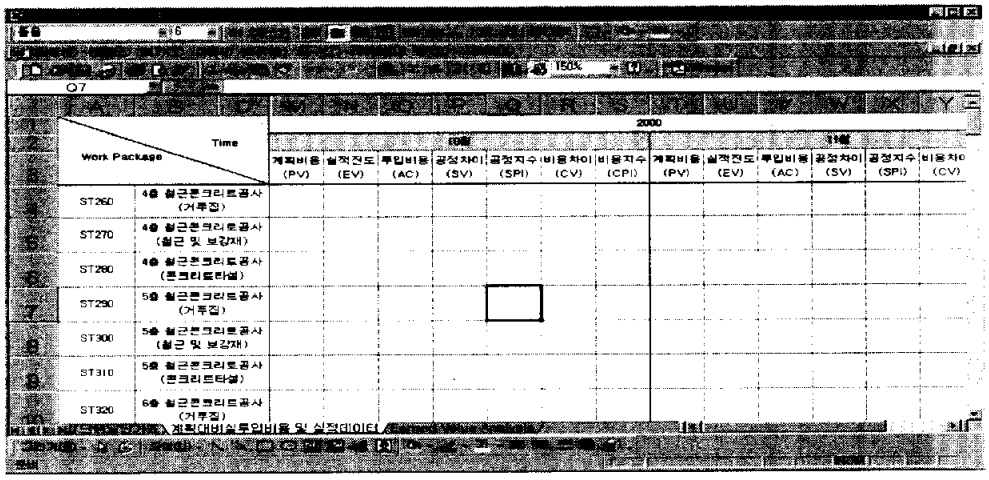
또한, 각각의 Work Package에 대해 일정이 진행됨에 따라 월간 또는 주간 단위로 이루어지는 보고를 한 시트 안에 연속적으로 작성하여 현재 상태(current)와 지금까지의 누적 자료를 얻을 수 있다.



<그림 2.15> 인력에 대한 투입단가표(Sheet Ⅱ)

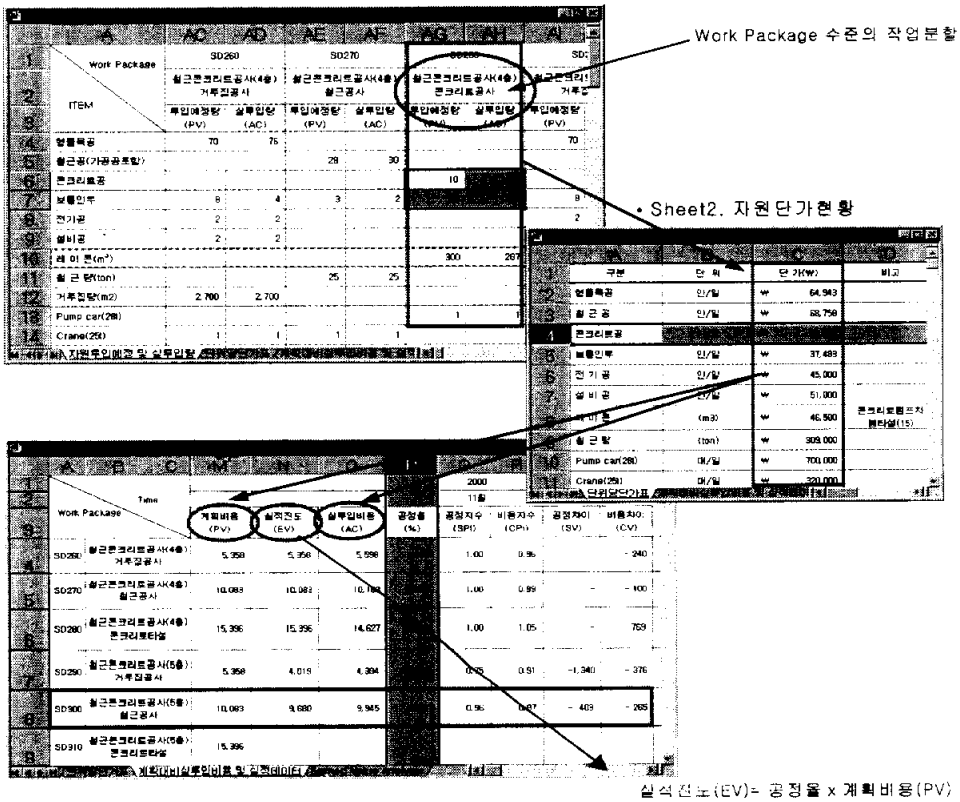


<그림 2.16> 자재, 장비에 대한 투입단가표(Sheet Ⅱ)



<그림 2.17> 일정에 따른 Work Package들의 예산 및 실적 시트(Sheet Ⅲ)

• Sheet1. MPS를 이용한 EVMS의 자원투입계획



• Sheet3. 일정의 진행에 따라 연속적으로 작성되는 EV 데이터시트

<그림 2.18> MRP에 의한 EVMS의 계획수립과 분석절차

3. 일정·비용 통합관리 시스템을 이용한 진도관리

3.1 EVMS기반 공사관리체계

3.1.1 EVMS 적용을 위한 환경 분석

EVMS가 기본적으로 일정과 비용을 통합 관리하는 방법이지만, 국내의 건설사업 관리가 내역위주로 이루어지고 있으며, 미국에서는 EVMS를 실비정산보수가산방식에 적용하는 것을 원칙으로 하고 있으나, 국내의 경우 총액단가계약방식으로 이루어지고 있기 때문에 국외의 EVMS 관리기법을 국내 건설사업, 특히 공공 건설사업에 그대로 적용하기에는 문제점이 많다. 그 문제점을 EVMS 운영환경 및 적용 환경 측면에서 살펴보면 다음과 같다.

(1) EVMS 운영 환경

① EVMS 적용 대상 측면

EVMS는 기획, 설계, 시공 등 건설사업의 전 단계를 대상으로 하는 총사업비 및 총 사업기간에 대하여 적용할 때 효과를 극대화할 수 있다. 이를 위해서는 엄격한 총사업비 및 사업기간에 대한 예측·계획이 전제되어야 하지만, 용지보상 지연 및 민원 등 기술 외적 요인으로 인하여 총사업비 및 사업기간을 사전에 정확하게 예측하는 데는 한계가 있다. 또한 정부 재정상태에 따라 사업 착수 시기나 총 사업기간이 연장되는 경우가 있고, 아직까지는 투자 우선순위에 대한 인식의 차이에 따른 분산 투자가 이루어지고 있는 현실이므로, 당장 총사업비 및 기간을 대상으로 적용하는 데는 한계가 있는 실정이다.

② 내역 위주의 건설사업 관리측면

건설사업을 효과적으로 관리하기 위해서는 기존 일정과 비용관리의 분리된 기능을 통합하기 위한 일련의 노력이 요구된다. 그 동안 우리나라 건설사업에서는 내역 위주의 관리 모델에 의해 일정과 비용은 개별적으로 관리되어 왔고, 객관적인 성과 측정의 기준이 없었기 때문에 투입 비용과 기간에 대한 예측 및 문제점을 사전에 파악하여 적절하게 조치할 수 있는 체계가 미흡하였다.

③ 건설사업 계약제도 측면

현행 공공 건설사업의 대부분은 미 국방성 등에서 EVMS 적용의 예외로 하고 있는 총액단가계약방식을 채택하고 있다. 실비정산보수가산계약방식은 건설사업에 투입되는 실비용을 정확하게 파악하여 대가지급의 기초 자료로 활용해야 하므로, 발주자 관점에서 EVMS의 적용은 매우 유용한 방법이다. 반면 총액단가 계약방식에서는 시공자에게 계약 공기와 계약금액 범위 내에서 공사를 완료해야 하는 일차적인 책임이 있으므로, 시공자의 실투입비용은 발주자의 관심사가 아닐 수 있으며, 이는 EVMS 적용에 있어 제한적인 요소로 대두된다.

실비정산 보수가산 계약방식에 기준하여 개발된 EVMS를 확정계약 조건의 국내에 적용할 경우 발생할 수 있는 첫 번째 문제는 예비비의 유무에 있다. 미 국방부의 EVMS 적용 지침에 제시된 내용에 따르면, 이러한 예비비에는 변경에 따른 비용 상승분과 이윤 등이 포함될 수 있으며, 관리 기준선과 이 예비비가 합해져서 계약예산기준선이 된다. 하지만 국내와 같은 확정계약 조건에서는 이러한 예비비를 초기 성과측정기준선에 포함시켜야 하므로 발주자와 시공자, 시공자와 협력업체 사이의 관리 목표 및 기준상 차이를 나타내게 된다.

(2) EVMS 적용 환경

① 통일된 작업분류체계 및 일정·비용 통합 관리 체계 측면

통일된 작업분류체계 및 일정·비용 통합 관리 체계의 부재로 인해 통일된 건설사업 관리계정의 결정이 힘들게 되고, 따라서 건설회사별 서로 다른 기준에 의한 관리 체계를 가짐으로써 통일된 관리 방법의 제시가 불가능하다. 또한 일정·비용 통합 관리 체계의 부재는 EVMS와 기존의 각기 다른 목적에 따라 분리 수행되어온 일정과 비용 관리의 적용 절차 및 그 결과 분석에 있어 많은 혼선을 가져오고 있다.

② 진도율 산정 기준 측면

현행 공공 건설사업에서 진도율 산정 및 기성지급 방법은 산출 내역서의 물량 검측에 기초하고 있다. 내역서 물량 중심의 진도율 산정 체계 및 기성 지급 방식은 현재의 공공 건설사업 및 관행에 부합하는 방법이다. 그러나 장기적으로는 EVMS를 효과적으로 활용하기 위해서 사업의 특성과 여건에 맞는 진도율 산정 기준 및 기성 지급 방법을 개발하고, 이를 EVMS와 연계함으로써 기성업무의 효율을 제고 할 수 있도록 하여야 한다.

이와 같은 맥락에서 국내 일부 공공기관에서 EVMS의 적용을 시도하고 있으나, 내역서 물량 검측 이외의 진도율 산정 방법은 분석도구로서 제한적으로 활용되고 있는 실정이며, 이를 기성지급방법과 연계하는 데는 제도적·관행적 한계가 있으므로 관련 제도 및 관행의 개선을 검토하여야 한다.

③ 인프라 부재 측면

EVMS에 기반을 둔 일정·비용 통합 관리를 위해서는 일정 및 비용을 과학적으로 계획하고 관리할 수 있는 인프라 및 EVMS에 대한 발주자와

계약자의 이해가 필요하다. 뿐만 아니라 EVMS의 효과적인 운영을 위해서는 CPM 등에 입각한 과학적인 일정 관리가 전제되어야 하며, 일정과 비용을 함께 고려한 철저한 계획수립이 수반되어야 한다.

그 동안의 내역서 중심의 관리 체계에서 한 걸음 나아가 일정과 비용을 통합 관리하기 위해서는 통일된 작업분류체계 구축 및 CPM기법의 현장적용 활성화 등에 상당한 노력과 시간이 투입되어야 할 것이다.

3.1.2 건설사업 진도관리 방법론

(1) 진도관리 개요

예정 공정표와 실제 공정표를 대비하여 공사의 진행을 관리하는 것을 진도관리라 한다. 특히 진도관리는 공정의 원활한 진행을 유지함으로써 일정 지연으로 인해 발생하는 추가비용 발생 및 돌관공사 등에 의한 품질 저하 등의 문제를 방지하는데 그 목적이 있다. 진도관리는 공사 진행을 예측하여 일정 계획과 자원 투입 계획을 조정하는 데에 사용되고, 공사 재무계획을 위한 자료로도 사용된다.[15]

건설경영측면에서 보면 투입된 비용과 작업 진도율이나 작업량을 비교해서 사업 초기 단계에서부터 진도와 투자비를 비교 분석하여 문제점을 사전에 파악하여 대책을 세워나가는 것이 절대적으로 필요하다. 사업의 비용은 항상 업무량과 연계하여 증감이 분석되어야 한다. 이것이 가능해지기 위해서는 비용의 계량화만큼이나 작업량을 객관적으로 계량화하는 기준이 필요하다.[16] 즉 현재 상황을 정확히 반영한 진도율 산정이 요구되는 것이다.

(2) 전통적 진도관리 방법

진도율 측정의 전통적인 방법은 다음과 같다.[17]

① 추정진도 측정방법(Estimated Percent Complete Method)

단위 공종이나 단위 작업별로 관리 책임자가 작업진행 상태를 파악한 후 주관적인 판단에 의하여 달성도를 부여하는 방법으로서 진도 측정기준이 비교적 단순하여 진도산정에 많은 인원과 시간이 불필요하며, 주로 소규모의 공사나 단순 반복공사의 경우에는 유리하다. 그러나 작업 진도

---

15) 배신호, "건설공사에 있어서 진도관리의 효율화에 관한 연구". 석사학위논문, 중앙대학교 건설대학원, 1989

16) 최윤기, "일정과 비용을 통합한 건설공사 진도율 산정 시스템", 박사학위논문, 서울대학교 대학원, 1999

17) 신현필, "건설적산관리개론", 건설일보사, 2001

율과 실 작업량 관계가 불명확하고 주관적인 판단으로서 객관성이 결여되어 신뢰도가 저하되며, 개인의 능력이 진도판정에 크게 좌우되므로 담당 책임자가 변동이 생기는 경우 판단의 기준이 달라질 우려가 있다. 또한 설계나 작업량의 변경 시 수정이 용이하지 못한 단점을 갖고 있다.

② 실 작업량 측정방법(Physical Progress Measurement Method)

단위 공종이나 단위 작업별 총 예상 작업물량 대비 실 시공물량의 비율로서 달성도를 산정하는 방법이다. 건설사업에 소요되는 자재 중 대량의 물량으로써 수량을 측정하는 단위의 매김이 가능한 공정에 도입하는 방법으로 국내건설현장에서 흔히 도입되고 있는 방법이다. 이 방법을 효과적으로 도입 적용하기 위해서는 우선 단위 공종이 세부적으로 정확하게 한계가 설정되어야 하며, 단위 공종에 단일 계량단위가 부여되고 물량이 대량이고, 대표 물량 선정이 비교적 정확하여야 한다. 이 방법은 가장 정밀하고 정확하며, 주관적인 편견보다 객관적인 입장에서 달성도가 측정되므로 신뢰도가 높으며 사업수행과 달성도 측정 및 평가가 정확하지만, 기준 수립에 시간과 인력이 필요하며 적기에 작업물량과 금액정보를 확보하는 데에는 어려움이 있다.

(3) EV 진도 관리 방법

단위 작업 범위를 측정 가능한 규모로 세분화시켜 작업 진행 단계별로 일정한 달성진도 값을 부여 혹은 인정함으로써 작업진도를 산정하는 방법이다. 추정 진도 산정 방법의 단순성과 편의성, 실 작업량 측정방법의 객관성을 혼합한 방법으로 달성진도 값 인정 규칙에는 작업 단계별로 작업진로의 측정기준이 될 신용가치 인정 혹은 부여 값은 개인에 따라 크게 달라질 수 있다. 이는 주관적인 요소를 가질 수도 있다는 의미로서 이 때문에 공사 착수 전 특히 계약 초기에 계약 당사자간의 부여 값에 대한

협의 확정이 필요하다. 또 미확정으로 사업을 착수하거나 기 협의 확정된 부여 값에 변경이 있을 경우에 대해서도 사전에 충분히 고려하여야 한다.

이 방법은 추정진도 측정 방법에 비하여 훨씬 세부적이고 객관적으로 진도 측정이 가능하고, 정확성에 비하여 실 작업량 측정방법보다 개발에 시간과 인력이 덜 소모된다. 그러나 개인에 따라 작업 단계별 달성진도 값 인정 방법이 상이 할 수 있으며, 단위 사업에서 당사자간 부여 값 결정에 이견이 생길 수 있다. 또한 단위 작업을 너무 세분화하는 경우가 있다. 미국 정부기관인 에너지성(DOE), 국방성(DOD) 및 교통성(DOT)에서 발주하는 주요 건설사업에 적용이 일반화되어 있다.

추정진도 측정방법 및 실 작업량 측정방법은 기존 국내 건설사업에 있어 주로 사용되어온 방법이며, 달성진도 인정 방법의 경우 토목공사 및 기자재 설치 같이 단위 작업기간 혹은 설치기간이 단계적으로 진행되면서 비교적 장기간인 경우 적합한 방법이다. 달성도 인정방법의 세부적인 방법은 <표 3.1>[18]과 같다.

---

18) 김선국, "EVMS 기법활용", 경희대학교 건설기술관리연구실, 1999

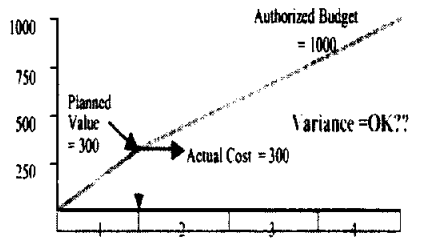
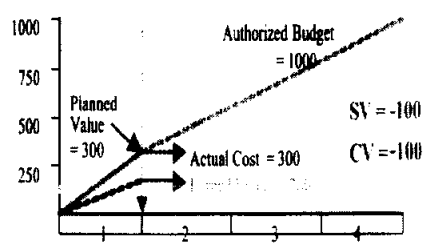
<표 3.1> 여러 가지 Earned Value 측정 방법

방 법	내 용	특 징
Weighted Milestones	마일스톤에 가중치 비용을 분할함	· 객관적인 마일스톤을 월당 1~2개 설정함 · 짧은 일정을 갖는 경우 적합함 · 가장 선호됨과 동시에 작성과 관리가 가장 어려움
Fixed Formula by Task	일정 비율, 즉 0/100, 50/50 등으로 분할함	· C/SCSC 초기에 많이 활용되었으나, 최근 적용이 감소함 · 이해가 쉬움 · 효과적인 활용을 위해서는 작은 관리단위를 유지하여야 함 · 3개 단위기간 이하에 적합
Percent Complete Estimates	월별 실적 진도를 담당자의 평가에 의하여 결정함	· 주관적 판단에 의함 · 객관성을 높이기 위하여 관리지침을 설정하여 활용 · 관리의 용이성으로 인하여 활용도가 계속 높아지고 있음 · 상한값 활용 · 일반적으로 누계진도를 표시
Percent Complete & Milestone Gates	마일스톤 가중치와 주관적 실적 진도를 병행 사용함	· 주요 마일스톤의 한계 내에서 주관적 실적진도를 평가함 · 가중치 마일스톤만을 활용시의 기준 진도 작성에 필요한 과중한 노력경감
Earned Standards	과거 실적자료에 근거한 기준 설정	· 가장 정교하며 체계적 관리를 요함 · 반복적 작업 또는 규칙적 생산작업 등에 제한적으로 활용됨
Apportion Relationships to Discrete Work	밀접한 상관관계를 갖는 작업을 함께 평가함	· 일정 편차에서는 큰 오차를 발생하지 않으나, 비용편차에서는 현격한 오차를 유발할 수 있는 단점이 있음
Level of Effort	작업보다는 시간에 의하여 진도 평가	· 물리적 작업이 아닌 계획진도에 의해 평가되며, 실적 진도와 같아지는 맹점이 있음 · 추천되지 않는 방법임

(4) 전통적인 진도 관리 기법과 EV 관리 기법의 비교

건설사업에서 EV를 사용할 때는 PV, AC, EV의 세 가지 범위의 자료를 비교하는 데 반해, 전통적인 비용 관리 기법에서는 PV, AC 두 가지 자료를 이용 할 수 있으며 각 기법 사이에는 중요한 차이가 있다. 전통적인 관리기법과 달성진도 기법의 비교는 <표 3.2>[19]와 같다.

<표 3.2> 관리 기법 비교

항목	전통적 관리기법(S-Curve)	Earned Value 기법
관리 기준	· PV · AC	· PV · AC · EV
분석 척도	· 비용편차 = PV - AC · 일정편차는 명확히 측정할 수 없음	· 비용편차 = EV - AC · 일정편차 = EV - PV
특징	· 전체 예산을 시간 축에 맞춰 배분한 계획 예산을 누적해서 S-Curve를 작성하고 이것에 대해 발생 비용을 비교 · 일정 편차가 비용 절감에 의한 것인지, 일정 지연에 의해 발생 비용이 적은지 판단 불가능 · 일정과 비용이 분리된 관리 체계 · 잔여 공사에 대한 일정과 비용의 예측 및 리스크 관리 기능 미흡	· S-Curve 방법에 기성고 개념을 도입해서 일정, 비용 편차를 측정 · 현재까지의 진도율(성과)에서 건설사업 완료시의 일정 지연, 비용 초과를 예측 할 수 있음 · 일정과 비용이 통합된 실적 관리 체계 · 비용, 일정 문제점의 조기 예측, 분석, 발견가능하고 문제해결의 실마리 제공
적용 대상	· 비용 항목이 명확해서 일정 편차가 생기지 않는 일정이 짧은 중·소형 건설사업에 적용	· 비용 항목이 많고 복잡하며 일정이 장기간인 중·대형 건설사업에 적용
비고		

19) 신현필, "건설적산관리개론", 건설일보사, 2001

· 전통적인 건설사업 비용 관리

Planned Funds = $300,000
Actual Costs = $300,000
→ 지출 계획과의 차이 = OK

· Earned Value 건설 사업관리

Planned Value = $300,000
Earned Value = $200,000
Actual Value = $300,000
→ 일정차이 = -$100,000
→ 비용차이 = -$100,000

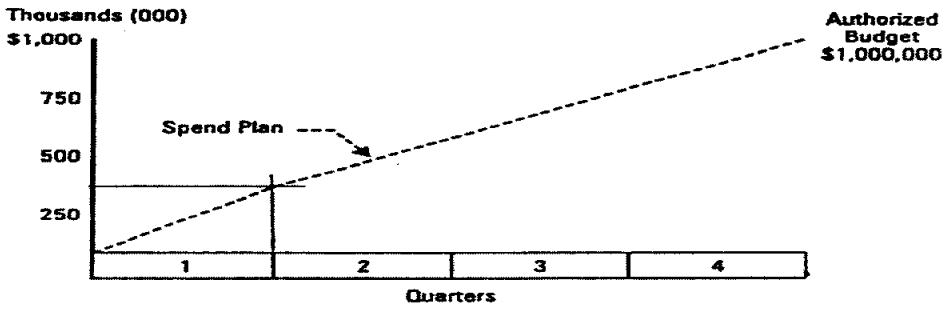
아래 <그림 3.1>[20]과 같이 총 $1,000,000 규모의 건설사업 중 1/4분기 동안 계획된 지출은 $300,000으로 예상되었다. 전통적인 관리 기법을 사용하면 1/4분기 말에 건설사업 비용 수행은 <그림 3.2>와 같다. 승인된 소비 계획은 1/4분기 동안 $300,000의 지출을 예상하였고, 오직 $300,000의 지출 결과만을 보여준다. 재정상의 계획에 대하여 정확하게 실행되고 있으므로 건설사업은 재검토 없이 계속 진행될 수 있다. 그러나 <그림 3.3>에서는 건설사업의 정확한 비용 실행 현황을 누구도 결정하거나 알 수 없다. 다시 말해, 계획된 지출과 실제 지출은 같지만, 실제 기성은 알 수가 없다.

이에 반해 <그림 3.3>의 Earned Value 관리에서는 건설사업이 $300,000 만큼 달성되도록 계획되었지만, 실제 $200,000밖에 달성하지 못하였다는 것을 보여준다. 따라서 건설사업에서 -$100,000의 일정 변화가 있다고 할 수 있다. 또한 물리적 작업 수행의 기성인 총액 $200,000보다 더 많은 $300,000의 실제 비용이 사용되었다. 단지 $200,000 가치를 이루기 위해서 실제 $300,000을 지출했다는 것을 알 수 있다. 따라서 건설사

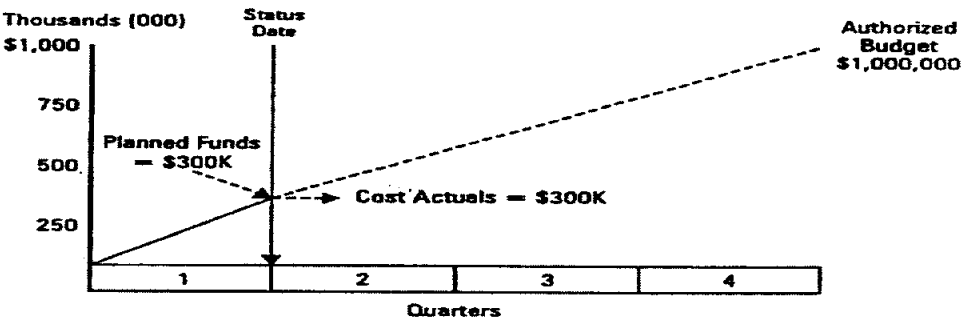
---

[20] Quentin W.Fleming, Joel M.Koppelman, Earned Value Project Management, PMI, pp17~20, 2000

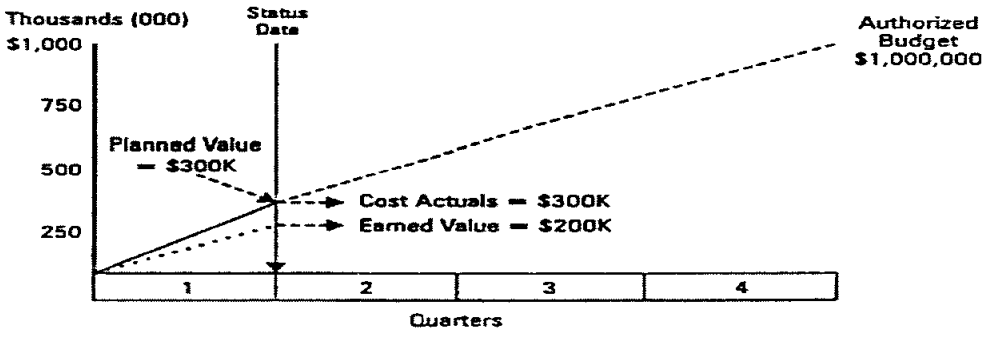
업에서 -$100,000의 비용 변화가 있다고 할 수 있다. 전통적인 관리 기법으로 계속 관리가 이루어질 경우 이 건설사업은 계속 문제를 발생시키지만, 그것을 발견할 수 없을 것이다.



<그림3.1> 일반적인 비용 지출



<그림 3.2> 전통적인 비용관리 : 계획 대 실 투입비



<그림 3.3> Earned Value 관리

3.2 일정 · 비용의 통합

일정 · 비용 통합에 관한 많은 연구와 시도가 있으며, 이로 인해 통합 방법론에는 많은 진전이 이루어졌다. 이러한 기존 통합 방법론 중 현시점에서 적용 가능한 방안들은 크게 4가지로 대별되며 각각의 특징을 비교해 보면 다음 <표 3.3>[21]와 같다.

<표 3.3> 일정 · 비용 통합 방법론의 비교

방 법 론	개념 및 특징	특징 제안자
공정중심통합	· 관리 계정별, 작업군(Work Package) 별 비용 산정	NASA, DOD
비율할당방법	· WBS 최하위 레벨에 원가비율 할당을 통한 통합	Teicholz(1987)
원가중심통합	· 원가분류체계에 작업분류체계 포함	박찬정(1998)
공통분모활용	· Work Element 활용 · 최소단위 공통자 활용	Hendrickson(1989) 최윤기(1999) 김우영(2000)

비용관리와 일정관리의 통합에 관한 기존연구는 여러 측면에서 문제해결을 위한 대안을 제시하고 있다. 그 중 매우 포괄적인 분석과 함께 방법론을 제시한 Rasdorf, W. J. and Abudayyeh, O. Y.의 연구[22]가 가장 자주 인용되면서 관련 연구의 기반이 되고 있다.

이들의 연구에서는 네 가지의 통합 방법론을 비교 · 분석하였다.

---

21) 임형철, "비용-일정 통합관리를 통한 건축공사 EVMS(Earned Value Management System) 구축", 대림기술정보, 2002

22) Rasdorf, W. J. and Abudayyeh, O. Y, "Cost- and Schedule- Control Integration Issue : Needs", Journal of Construction Engineering and Management, 1991

첫 번째 방법론의 경우, 가중치 분배를 통하여 일정과 비용을 통합하고 있으나, 이는 두 가지 업무기능의 근본적인 연계를 이루지 못하고 있다.

두 번째 방법론은 작업 요소를 공통분모로 사용하여 통합의 기반은 마련하였으나, 일정 관점과 비용 관점의 이원화라는 근본적 관리 문제를 해결하지는 못하였다.

세 번째 방법론은 설계 개체를 공통분모로 사용함으로써 설계와의 통합까지 이루는 포괄적 틀을 제시하였으나, 자료의 세분화로 인한 활용상의 문제점을 갖는다.

네 번째 방법론은 Work Packaging 모델로서 미 국방성(DOD)에서 개발된 EVMS 개념을 기반으로 하고 있으며, 일정 체계와 비용 체계의 단일화된 관리에 보다 용이한 것으로 분석되었다.[23]

일정과 비용에 대한 관리가 별개로 이루어질 경우 다음과 같은 문제점이 있다.

①주어진 일정과 비용이 효과적으로 사업 관리에 반영되었다고 볼 수 없다.
②비용 추적(Monitoring)을 신뢰할 수 없다.
③일정과 비용에 대한 실시간 피드백(Feedback)이 곤란하다.
④일정지연, 비용 증가 등의 문제 발생시 원인 규명이 어렵다.

일정과 비용 정보의 통합 목적은 최종 건설사업 비용과 완료일을 공사 중에 빠른 시간 안에 예측하기 위해서이며, 실행 기성을 통한 건설사업

23) 정영수, "공정 · 원가 통합 관리 활성화 방안", 한국건설산업연구원, 2000

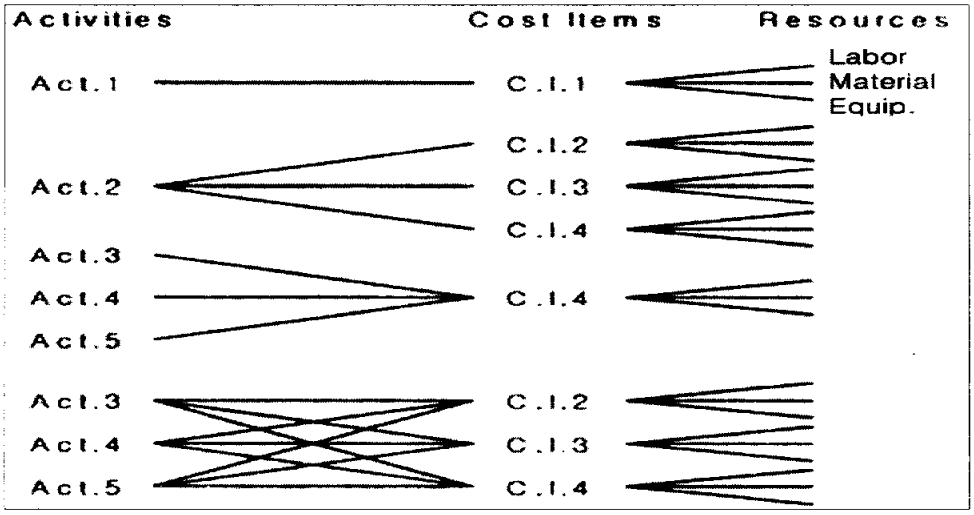
진도율을 추적하고 자금 소요의 정확도를 높이기 위해서라 할 수 있다. 또한 미래 건설사업에 기초 자료를 제공해 줄 수 있는 데이터베이스 구축에 있다.

현행 일정·비용 정보 통합 체계에 있어서 대부분의 건설 사업관리 시스템은 기본적으로 일정과 비용의 정보 구조가 양분된 상태에서 이를 상호 연계 또는 맵핑(Mapping)시키는 메커니즘과 방법론을 채택하고 있다. 즉, 건설사업에서 일정모델은 작업(Activity 또는 Operation)을 기초로 일정 계획 및 관리 활동이 이루어지고 있으며, 이때 작업분류체계인 WBS는 작업이 수행되는 위치(Location)를 중심으로 구조화하고 있다. 반면, 비용 모델은 공종(Work Item)을 중심으로 구성되는 내역서를 활용하고 있으며, 이때 작업 항목은 비용 계정 또는 비용 관리를 목적으로 재료 및 부위(Element)를 중심으로 구조화하는 경향이 있다. 즉 일정과 비용 정보 통합의 주된 장애 요인은 비용 정보로 구성된 내역서상의 항목과 일정 정보로 구성된 공정표상의 작업 항목간의 불일치에 있다.

이와 같이 일정과 비용의 데이터 구조를 서로 다른 관점으로 정의함에 따라 비용 관리 기능과 일정 관리를 목적으로 관련 데이터를 수집하는데 있어 추가적인 작업이 요구되며, 관련 데이터를 통합적으로 관리하고자 할 때 아래 <그림 3.4>[24]와 같이 작업과 내역 항목 간에 일대일(One-to-One), 일대다(One-to-Many), 다대일(Many-to-One), 다대다(Many-to-Many)등 복잡한 맵핑(Mapping) 작업과 계산 업무를 필요로 하게 된다.

---

24) 이유섭, "Earned Value 기반 건설 사업관리체계 및 사례연구" 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2002



<그림 3.4> 작업과 내역 항목간의 관계

3.3 진도율의 산정

EVMS에 의한 공사 관리를 수행하기 위해서는 일정과 비용 정보의 통합에 의한 공사 관리에 중요한 정보가 제공되어야 한다. 일정과 비용 통합 관리를 위한 주요 대상은 진도율의 측정 및 평가라고 할 수 있다. 특히 국내에서는 공사 관리가 내역 위주로 이루어지고 있어 국내 여건에 맞는 종합적인 공사 관리가 되기 위해서는 그에 필요한 관리 대상 작업이 분할되어야 하고, 각 단위 작업은 공사 관리를 할 수 있는 각 관리에 필요한 정보가 할당되어 있어야 한다.

따라서 본 연구에서는 국내 건설사업에서 적용하고 있는 일정과 비용의 통합방법론 및 진도율 산정 방법에 대한 국내외 연구와 국외 적용 사례를 고찰하여 문제점을 도출하고, 도출된 문제점을 개선하기 위한 기본 방향을 설정하고, 현장 여건에 맞으면서도 보다 쉽게 측정할 수 있는 진도율 산정 방법을 제시하도록 한다.

3.3.1 진도율 산정에 관한 기존 연구

진도율 산정이나 초기 공사 진도 계획 수립 시에 거의 대부분의 공사가 제도적 기준이나 객관적인 자료가 없어 대부분이 유사한 방식을 사용하고 있다. 즉 진도율값이 실제 작업량과 거의 무관하게 산정되고 있다.[25] 특히 초기진도계획 수립 시 사업추진 계획과는 무관하게 계약자는 공사 진척을 준공일자에 맞추어 공사기간 후반기에 상당한 비중을 두는 반면, 발주자는 공사기간 전반부에 비중을 둠으로서 공사기간에 따른 물가상승비 증가요인을 가능한 피해가고자 하는 방법을 선호하고 있다.

국내외 진도율 산정 방법에 대한 연구를 분석해 보면, 대부분 객관적이고 명확한 진도율 산정을 위한 방법 및 기준에 대한 논의와 상위 공종으

25) 이복남, "국내 건설공사의 진도 및 기성고 산정방법 개선", 한국건설산업연구원, 1997

로의 종합 진도율 누계 산정을 위한 단위 공종별 가중치 산정 방법에 연구의 초점을 맞추고 있다. 대부분 객관적인 진도율 평가를 위해서는 명확하고 세부적인 대표공종 산정의 필요성을 강조하고 있다. 또한 세부 공종별 진도율에 기반하여 상위 단계의 종합 진도율 산정을 위한 단위 작업별 가중치를 적용하고 있으나, 일관되고 종합적인 가중치 산정 방법을 제시하지는 못하고 있는 것으로 판단된다.

진도율 산정에 대한 기존의 연구 분석결과를 요약하면 <표 3.4>[26]와 같다.

<표 3.4> 진도율 산정에 대한 기존 연구 분석

제 안 자	제 안 내 용	문 제 점
Eldin 1989	· 대표공종 세분화 · 비교적 객관적인 진도 평가에 대한 방법론 제시 · 예산 비율로 가중치 산정하여 가중 집행율 측정 후, 상위레벨의 진도율을 산정	· 세부 공종별 가중치 산정에 대한 언급 없음 · 단위 작업별의 집행율 산정은 여전히 주관적 판단에 의함
Clark & Lorenzoni 1997	· 가중진도 측정방법 · 단위 작업별 가중치는 작업별 예산 비용의 비율로 계산	· 진도 측정의 객관성 결여 · 대표 공종별 가중치 산정기준 모호
이복남 1997	· 작업 공종별 설치유형 기준의 공사기간 진도율 계획 · 수량측정 단위가 있으면 실작업량 측정방법 사용	· 단위 작업별 가중치 산정 기준 모호 · 다양한 진도 산출 방법에 대한 혼용 가능성만 언급
최윤기 1999	· 서로 상이한 비용, 일정 정보의 통합을 위한 새로운 분류체계 개념 제시 · 분할된 각 단위 작업의 공사 진도율 산정 모델 제시	· 단위 작업별 가중치 산정 기준의 제시 없음

26) 원동수, "EVMS 적용을 위한 최적 성과측정기준선 설정 및 공정편차 산정 방법", 석사학위논문, 서울대학교, 2002

(1) Eldin의 진도율 산정법

Eldin(1989)의 경우 진도율을 산정함에 있어 단위 작업들을 관리시점별로 구분하여 Weighted Milestone의 달성진도 개념을 적용하여 관리지점에 달성진도를 부여하는 방법을 제시하였다. 예를 들어, 기초공사의 경우 크게 터파기, 버림 콘크리트 치기, 기초 콘크리트 치기로 구분할 수 있으며, 이 각각의 작업들을 관리시점으로 구분하여 20, 30, 50%의 관리시점별 가중치를 설정하여 달성진도를 계산한다. 여기서 달성진도는 각 작업의 예산, 공기 또는 작업물량의 비율로 표시될 수 있다. 하지만 이 방법의 경우 각 작업별로 부여된 관리시점을 구분하는 객관적인 기준이 없으며, 관리시점별 진행 현황을 측정하는 방법은 결국 관리자의 주관적 판단에 근거하기 때문에 계산된 집행율의 정확성에 문제가 있다.

(2) Clark와 Lorenzoni의 진도율 산정법

Clark와 Lorenzoni(1997)의 경우는 단위작업의 예산비율로 계산된 가중치에 기초하여 가중 집행율(Weighted Percent Complete : WPC)을 측정한 후, 상위레벨의 진도율을 산정하는 방법을 제시하였다. 이러한 방법은 가장 널리 쓰이는 진도관리방법으로 기본적으로 일정과 비용의 통합관리라는 가정을 배제하고 있다. 즉, 공정표에 의한 공정진행 관리와 내역에 따른 비용집행 관리가 개별적으로 이루어진다. 또한 단위작업의 집행율을 산정하는 기준이 없기 때문에 결국 진도율 산정은 관리자의 주관적인 판단에 의존함으로써 평가의 정확성에 문제가 있다.

(3) 이복남의 진도율 산정법

이복남(1997)은 진도율 산정 방법을 초기계획 진도율 수립과 실적진도율 산출부문으로 나눠서 제시하였다.

① 계획 진도율 산정 : 사업초기 진도율 수립 당시는 사용 가능한 자료의

부족과 세부 공정계획이 수립되지 않은 상태이기 때문에 일반적 세부공정표인 CPM 레벨에서 진도 계획은 상당한 시간 제약 및 인력이 과도하게 투입된다. 때문에 과거 경험치로부터 공종별 표준 계획곡선 형태를 개발해 사용자가(발주자 및 계약자) 기간별 시공 목표 계획에 따른 모형을 선택하여 사용할 수 있도록 했다.

사용자의 편의를 위해 진도 곡선 모형으로부터 계획진도 작성을 여러 각도에서 Simulation하여 의도하고자 하는 계획 진도 작성이 단시간 내에 이뤄질 수 있도록 전산 프로그램화하였다.

② 실적 진도율 산정 : 약 220개 정도의 대표 공종(예, 콘크리트 공사, 배관설치 공사 등)을 선정하여 공종별 실 작업량 측정 방법과 달성진도 인정 방법을 선택하여 사용할 수 있도록 그 기준을 개발하였다. 그리고 이 기준이 국가 차원에서 표준방법으로 인정될 수 있도록 관련제도와 연계시킬 수 있도록 제안하였다. 사업 특성에 따라 달성진도 인정방법 사용시 기성 값을 발주처와 계약자가 사전 합의하에 조정 사용할 수 있도록 개발하였다.

이 경우 실적 진도율 산정을 위해 대표 공종을 선정하였다. 대표 공종 중 수량단위가 있는 작업의 경우에는 실 작업량 측정방법을 사용하며, 설치기간이 1개월 이상 소요되는 기자재에 대한 실적진도는 달성진도 인정방법을 따르고 있다. 제시된 진도율 산정방법은 다양한 진도 산출방법의 제안이라는 점에서 의미가 있으나, 단위작업별 가중치 산정기준이 모호하고 모든 작업들을 Weighted Milestone의 달성진도 인정방법을 적용하고 있어 작업별 특성에 대한 고려는 부족한 것으로 판단된다.

(4) 최윤기의 진도율 산정법

최윤기(1999)의 연구는 일정과 비용의 통합관리에 초점을 두고 있으며, 그 방법으로 부위에 따른 일정·비용 통합 모델이 제시되었다. 비용분류

체계와 작업분류체계의 관리 수준을 조정하였다. 그리고 이들의 효율적인 연계를 위해 작업 부위 요소라는 개념을 도입하여 관리계정을 정의하고, 분할된 각 단위작업의 건설사업 진도율 산정 모델을 제시하였다. 하지만 단위 작업별 가중치 산정기준이 제외되어 있기 때문에 실제 적용에 있어서는 문제가 있으며, 진도율 산정에 의한 결과 치를 분석하여 예측할 수 있는 방법이 제외되어 있다.

이복남의 연구 중 국외 건설사업의 진도율 및 기성고 산정 방법 운영 사례는 다음 <표 3.5>[27]와 같다.

<표 3.5> 국외 건설사업의 진도율 및 기성고 산정 방법과 운영 사례

사우디 아라비아 걸프만 평화 기금센터	- 가중치 기준 : 소요비용 - 공사진도 : EV - 주간단위 측정	-공사 진도율 기준	**단계별 EV 예** - 슬래브 콘크리트 타설 : 가중치 0.15 **작업 단계별 EV 부여** - 터파기 작업 종료 : 10% - 거푸집 작업 종료 : 20% - 매입물 및 철근조립완료 : 30% - 콘크리트 타설 : 30% - 마감 작업 완료 : 10%
대만 고속전철	- 가중치 기준 : 소요인력 - 공사진도 : 실 투입물량 - 월간단위 측정	-공사 진도율 기준	

27) 이복남, "건설공사 진도 및 기성고 산정방법 개선", 한국건설산업연구원, 1997

홍콩Chek Lap Kok 공항 진입연육교 (칭마교량)	- 가중치 기준 : 소요비용 - 공사진도 : EV	- 공사 진도율 기준	- 진도율 산정기준 공정표 : 상위레벨의 막대그래프 공정표
미국 에너지성 유독성물질 제거 사업	- 가중치 기준 : 소요인력 - 공사진도 : 주관적 판단	- 실투입 인력 량에 따라 실비 지급	**작업량 측정 예시** - 총 소요인력 : 1,000 Man/Hour(항목별 예산) - 실투입 인력 : 890 M/H - 작업진도 : 95%(주관적 판단) - Earned M/H : 950 M/H
미국 보스턴지역 해저터널	- 가중치 기준 : 소요비용 - 공사진도 : EV, 주관적판단 병행		- 공사진도 측정기준 : CPM 공정표
미국 샌프란시스코 해변 고속 교통시설	- 가중치 기준 : 소요비용 - 공사진도 : EV 월간단위 측정	- 대표 공종 작업 성과에 따라 계약단가 지급	- CPM 공정표의 작업진도와 무관
일본 원자력 발전소	- 공사진도: 공종(토목,건축,전기,기계 등)중심의 단위 패키지별 주관적 판단	- Schedule Payment 방식 - 선금으로 계약가 20~25% 지급 - 유보금으로 5~10% 유보 - 잔여분(60~70%)은 매 6개월마다 균등 분할 지급 (월평균 1.4%)	- 발주자와 계약자 사이 신뢰감 전제 - 실 작업진도 측정과 무관하게 지급 - 기성고 신청, 사정 및 검정에 소요되는 비용을 고려하여 Scheduled Payment 방식 도입

(5) 국내외 연구의 비교 분석

국내외 사례의 비교·분석을 통해 알 수 있는 점은 다음과 같다.

① 사업진도 측정기준

가능한 한 객관성과 단순함을 추구하고 있다. 그리고 대부분 달성진도 인정방법을 사용하고 있다.

② 가중치(Weight Value) 부여 방법

작업에 대한 비중을 나타내는 기준으로써 금액을 기준으로 하거나 공종별 설치 물량에 소요되는 인력을 기준으로 한다. 다만 소요비용 기준인 경우는 시공자가 공사 입찰 단계에서 제시한 금액을 기준으로 하는 점은 국내 건설사업의 경우 표준 품셈에 의한 내역서 금액 기준으로 하는 것과 큰 차이를 보이고 있다.

이것은 작업의 진도를 객관적으로 계량화시키는 과정을 통해 발주처와 시공자 모두 서로 다른 기준 사용을 배제시키는데 결정적인 역할을 하기 때문이다. 반면에 국내의 경우처럼, 단지 내역서에 나타난 계약금액을 기준으로 하는 것은 시공자가 실제 작업량을 나타내기 위한 실행예산 금액 기준을 따로 관리하는 이중 부담을 야기하고 있다.

③ 기성고 지급방법

기성고 산정에 추가적인 노력으로 인한 인건비와 시간 절약을 위해 실비정산보수가산방식이 아닌 경우는 대부분 실적진도 방법(Progress Payment Method)을 사용하고 있다. 지상에서 건설되는 시설물 중 가장 복잡한 시설물인 원자력 발전소 건설사업에서 Schedule Payment 방식을 도입하고 있는 것은 물량 위주로 할 경우에 낭비될 인건비와 인력증가를 막기 위해서다. 사업을 경제적으로 진행시키기 위한 한 단면을 보여주는 것이다.

3.3.2 진도율 산정 기본 방향

지금까지 국내 건설현장에서 적용하고 있는 진도율 산정의 각종 현안 사항들을 개선하기 위해 다음과 같은 기본 방향을 전제로 하여 진도율 산정 방법을 제시하도록 한다.

(1) 진도율 산정기준 개발

건설사업에 대한 진도율 산정 기준을 개발하여 이 기준이 국가 표준으로 채택되도록 조처할 필요가 있다. 특히, 국내 내역위주의 관리여건에 맞으면서 일정과 비용 정보를 동시에 할당할 수 있는 단위작업 분할방법 및 서로 상이한 일정과 비용 정보의 통합을 위한 분류체계개념과, 분할된 각 단위작업의 진도율 산정방법이 제시되어야 한다.

(2) 진도율 산정 기준의 객관성

건설사업 자재 종류별 국가 표준 진도율 산정기준은 가능한 한 주관적 판단보다는 선진국에서 앞서 사용하고 있는 사례를 참조하여 응용하는 것이 보다 객관성을 가진다. 또 국내의 경우도 특정사업과 관련되어 사용하는 자료와 회사 표준자료의 정보를 폭넓게 분석하여 사용하도록 한다.

(3) 표준 진도율 산정 기준과 사업의 특성

표준 진도율 산정 기준은 건설사업의 특성에 따라 발주처와 계약자 사이에 의견 조정 후 변경하여 사용할 수 있어야 한다. 그러나 기준 변경은 가능한 건설사업을 본격적으로 착수하기 이전에 하여 건설사업 중간에 편의에 따라 수시로 개정하는 것은 바람직하지 않다.

(4) 건설사업 변경으로 인한 진도율 조정

건설사업 중간에 설계변경이나 업무량 축소 혹은 증가 사태가 다수 있을 수 있다. 업무량 축소 시 보다는 증가시가 진도율에 큰 영향을 준다. 그러나 경험에 의하면 그 변화폭이 ±20% 미만이면 증가된 항목에 대한 계획을 별도 항목으로 관리하여 특정 시기에 일괄하여 계획과 실적 진도를 변경시키는 것이 현실적일 것이다.[28]

어떠한 경우에도 진도율 개정 시는 계획과 실적치가 동시에 이뤄지도록 해야 한다. 그리고 변경에 대한 기준은 사업의 특성에 따라 사업장별로 이뤄지도록 하는 것을 원칙으로 한다.

(5) 단일 사업에서의 공사계약 및 공종별 적용 기준

국내 건설사업의 경우 대부분의 사업이 공종별(토목, 건축, 설비 등)로 다수 계약으로 나눠져 발주되는 것이 일반적이다. 이럴 경우 공종별 시공자 별로 각각 상이한 기준과 절차를 사용하여 왔다. 그러나 단일 사업인 경우 시공자나 공종의 구별없이 동일한 기준을 적용하여 사업의 일관성을 확보해야 할 것이다.

(6) 공종별 진도 산출 방법 혼용 관계

공종의 종류에 따라 실 작업량 측정 방법(단위가 있는 공종)과 기자재 등과 같이 설치 기간이 단계적으로 진행되면서 비교적 장기간인 경우 달성진도 인정 방법을 단일 사업에서 혼용하여 사용할 수 있어야 한다.

다만, 이 경우에도 공종의 종류별 산출 방법이 정해진 경우 단일 사업에서는 계약의 다수와 관계없이 동일한 기준을 사용해야 함을 원칙으로 한다.

---

[28] 공정·공사비 통합관리(EVM)를 통한 건설사업관리 선진화 방향, 이유섭, 한국건설기술연구원

3.3.3 진도율 산정방법 제안

실제로 얻어진 기성을 화폐단위로 정확하게 산정 할 수는 없다. 전술한 바와 같이 Fleming과 Coppelman은 공사 진행에 따라 얻어진 기성의 산정을 위해 다양한 방법을 제시하고 있다. 마일스톤에 가중치를 부여해서 기성 산정의 기준점을 제시하는 방법에서부터 공정율에 의한 방법까지 다양하게 기성을 산정 할 수 있는 방법들을 제안하고 있다.

이는 건설사업의 종류와 상황에 따라 다양하게 사용할 수 있지만, 본 연구에서는 가중치 분배를 통하여 일정과 비용을 통합하는 가중진도 산정 방법을 제안한다. 이러한 진도율 산정을 위해서는 전체 건설사업이 명확한 작업범위를 갖는 단위작업으로 분할되며, 각 단위작업에 필요한 정보가 할당되어 있어야 한다.

<표 3.6>은 기존의 간단한 가중진도 산정 예를 나타낸 것이다.

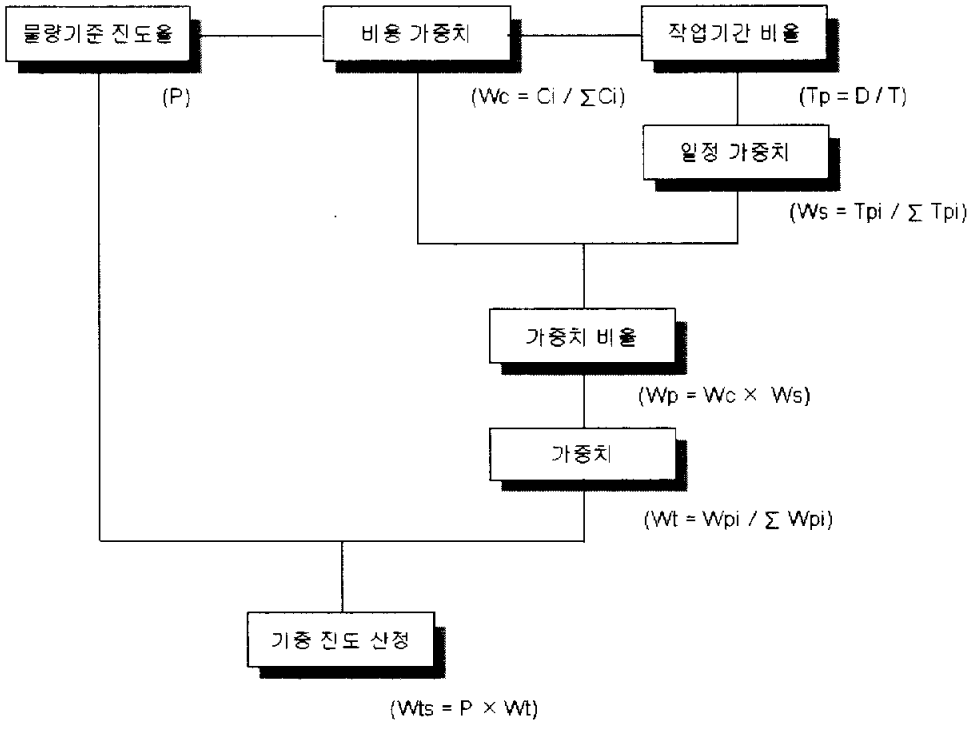
<표 3.6> 비용 가중치 산정 방법

세부공정	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	물량기준			[redacted]		
	계획량	완성량	진도율 (P, %)			
철근콘크리트공사	700	400	57	40,000	0.4	22.8
조적공사	600	200	33	20,000	0.2	6.6
방수공사	700	100	14	30,000	0.3	4.2
벽체 미장공사	400	-	0	10,000	0.1	0
합 계				100,000	1.0	33.6

1. (3)열 = {(2)열 / (1)열} × 100
2. (5)열 = 각 작업의 예산 / 예산 합계 (Wc = Ci / ΣCi)
3. (6)열 = (3) × (5), 비용 정보에 의한 가중진도

<표 3.6>는 세부 공정을 가지는 간단한 건설사업의 진도율 산정 방법을 설명하고 있다. 앞에서 예시한 것과 같이 건설사업은 다양한 하위 공정으로 세분되며, 각 공정들의 물량기준 진도율은 완성된 부분에 대한 계획량의 비율로 측정된다. 각 하위 공정들의 가중치는 그 공정에 대한 예산에 비례하며, 총 진도율은 각 공정의 물량기준 진도율에 이 가중치를 곱하여 산출한다. 이는 단순히 각 단위작업의 물량, 공사비 등을 포함한 비용 정보에 의한 진도율 산정이 가능하다.

따라서 비용 정보뿐만 아니라 일정 정보를 반영한 진도율 산정 방법을 제시하도록 한다. 그 방법은 <그림 3.5> 및 <표 3.7>, <표 3.8>과 같다.



<그림 3.5> 진도율 산정 프로세스

<표 3.7> 일정 가중치 산정 방법

세부공정	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
	일정 기준			[redacted]	
	계획기간 (D)	총여유 (TF)	작업가능 기간 (T)	[redacted]	[redacted]중치
철근콘크리트 공사	100	0	100	1.00	0.3
조적공사	80	10	90	0.889	0.26
방수공사	70	20	90	0.778	0.23
벽체 미장공사	50	20	70	0.71	0.21
합 계				3.377	1

1. (7)열 : 계획된 작업기간
2. (8)열 : 각 작업의 총 여유 (TF, Total Float)
3. (9)열 : 각 작업의 여유시간을 합산한 작업가능 기간 (T = D + TF)
4. (10)열 = (7)열 / (9)열 (Tp = D/T)
5. (11)열 = 각 작업기간 비율 / 작업기간 비율 합계 (Ws = Tpi / ΣTpi)

<표 3.8> 가중 진도율 산정 방법

세부공정	(3)	(5)	(11)	(12)	(13)	(14)
						진도 (%)
철근콘크리트 공사	57	0.4	0.3	0.12	0.46	26.22
조적공사	33	0.2	0.26	0.052	0.2	6.6
방수공사	14	0.3	0.23	0.069	0.26	3.64
벽체 미장공사	0	0.1	0.21	0.021	0.08	0
합 계		1	1	0.262	1	36.46

1. (12)열 = (5)열 × (11)열 (Wp = Wc × Ws)
2. (13)열 = 각 가중치 비율 / 가중치 비율 합계 (Wt = Wpi / ΣWpi)
3. (14)열 = (3)열 × (13)열 (Wts = P × Wt)

· 기존 산정 방법 : 57%×0.4 + 33%×0.2 + 14%×0.3 + 0%×0.1 = 33.6%

· 제안된 산정 방법 : 57%×0.46 + 33%×0.2 + 14%×0.26 + 0%×0.08 = 36.5%

($Wts = P_1 \times Wt_1 + P_2 \times Wt_2 + P_3 \times Wt_3 + P_4 \times Wt_4$)

제안된 방법에 의한 진도율 산정의 경우 36.5%로 기존의 진도율 보다 2.86% 높게 산정 되었다. 이러한 결과는 주요 관리대상이 되는 철근콘크리트 작업의 물량기준 진도율이 57%로 여유시간이 있는 다른 작업들의 진도율 보다 높기 때문이다. 따라서 기존의 진도율 산정 방법에 비해 제안된 방법이 작업간의 영향 요소 및 일정 지연 가능성을 반영하여 좀더 객관적이고, 명확한 진도율을 산정 할 수 있을 것으로 판단된다.

이는 내역 중심의 사업관리가 이루어지고 있는 국내 건설여건에서 각

단위작업의 물량, 공사비 등을 포함한 비용 정보에 의한 진도율 산정과 함께 단위 작업의 중요도 및 가중치가 일정 지연의 가능성까지 고려해서 산정이 가능해지는 것이다.

본질적으로 일정과 비용은 깊은 상관관계가 있으므로 하나의 인자가 늘어나면 나머지 하나도 따라서 증가하게 되어 있다. 그러므로 진도율 산정에 의한 일정의 변동을 예측하는 방법은 주 공정(Critical path)이 전체 공기를 좌우한다는 것을 인지하여, 주공정상에서 측정하고자 하는 계획치의 값에 해당하는 작업 패키지를 찾아 서로 비교하여 일정의 차이를 구하면 된다. 결국 최종적으로 이 일정의 차이만큼 건설사업 종료 시 일정이 더 증가하게 된다.

4. 최종 예상 공사비의 예측

4.1 EVMS의 데이터 분석

실제로 EVMS를 실제 프로젝트에 적용하기 위해서는 통상 시스템의 기획 단계에서부터 실적 데이터의 수집, 분석, 활용에 이르는 7단계 혹은 9단계를 거쳐야 한다. 본 연구의 2장과 3장에서는 EVMS를 프로젝트에 적용하기 위한 계획과정과 진도율 측정을 하는 방안에 관하여 논의 하였다.

이번 절에서는 EVMS의 성과 측정 요소와 분석 요소에 대하여 알아보고 최종 예상 공사비(EAC) 예측을 위한 필요 데이터의 개념을 정립하도록 한다.

4.1.1 EVMS 성과 측정 요소

측정요소는 실제 프로젝트가 수행되는 과정에서 주기적으로 프로젝트의 성과를 측정하는 지표로서 아래의 요소들을 포함 한다.

1) 계획 공사비(Planed Value : PV)

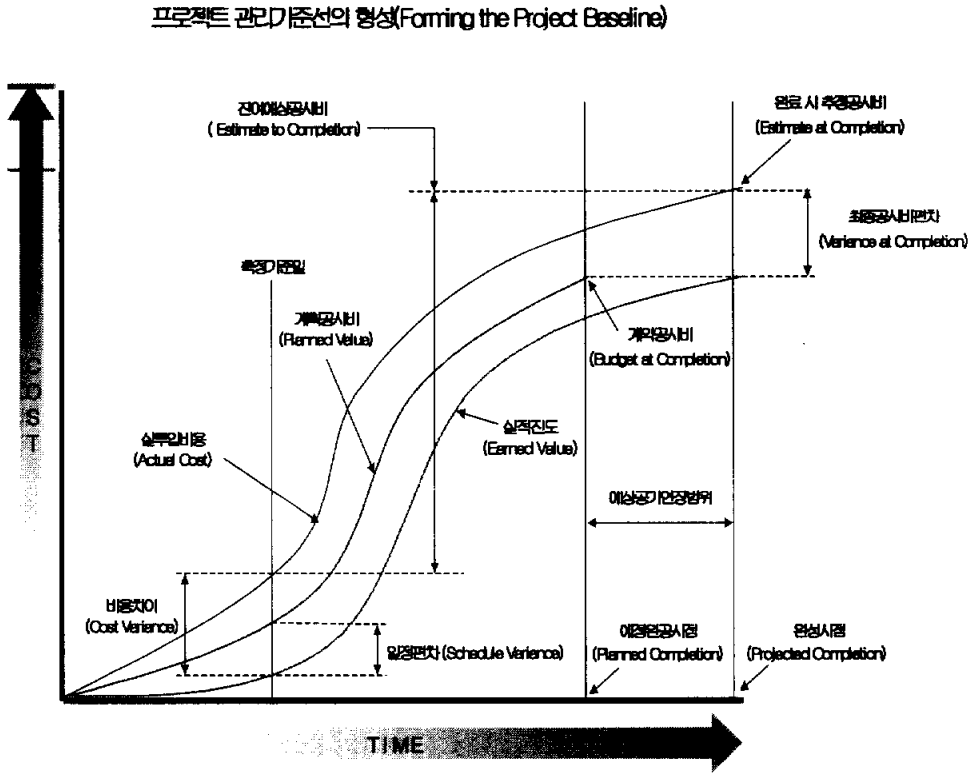
성과측정 기준일 까지 수행하도록 계획된 작업에 배분된 공사비이다.

2) 실적 공사비(Earned Value : EV)

성과측정 기준일 까지 수행 완료한 작업에 배분된 공사비이다.

3) 실 투입비용(Actual Cost : AC)

성과측정 기준일 까지 수행 완료한 작업에 실제 투입된 공사비이다.



<그림 4.1> 프로젝트 완성 시점에 대한 예측지표

4.1.2 EVMS 분석 요소

분석요소는 실제 프로젝트가 수행되는 과정에서 특정시점의 성과를 파악하고, 향후 프로젝트의 일정과 비용에 미칠 영향을 분석하는 지표이며, 아래의 내용을 포함한다.

(1) 공정 편차(Schedule Variance : SV)

특정 시점에서 EV와 PV의 차이를 비용의 개념으로 나타낸 것으로 공정지연정도를 지수형태로 나타낸 지표이다.

- SV = EV - PV
- SV < 0 : 공정지연, SV > 0 : 공정 초과달성, SV = 0(정상공정)

(2) 비용편차(Cost Variance : CV)

공사비편차(CV)는 특정 시점에서 EV와 AC의 차이로서 공사비의 초과집행 또는 절감여부를 비용의 형태로 나타낸 지표이다

- CV = EV - AC
- CV < 0 : 공사비 초과집행, CV > 0 : 공사비 절감

(3) 공정성과지수(Schedule Performance Index : SPI)

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

- 공정지수(SPI) = $\frac{\text{실적진도}(Earned\,Value)}{\text{계획공사비}(Planned\,Value)}$
- SPI < 1 : 계획 공정보다 지연 SPI > 1 : 계획 공정을 초과

(4) 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.

- 비용성과지수(CPI) = $\frac{\text{실적진도}(Earned\,Value)}{\text{실투입비용}(Actual\,Cost)}$
- CPI < 1 : 계획보다 공사비 초과, CPI > 1 : 계획보다 공사비 절감

4.2 최종 예상 공사비

4.2.1 최종 예상 공사비의 개요

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

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

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

EV개념에 의한 프로젝트의 최종의 일정과 비용결과를 예측할 경우 두 가지 실행성과지수가 필요하다. 첫 번째는 비용성과지수(CPI)로서 물리적으로 달성된 값과 진행 중인 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 일정과 비용에 대한 효율을 모니터하고 실제 실행성과에 대한 경향을 반영해야 한다.[29]

---

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

EV를 적용하는 프로젝트에서 최종 예상 공사비를 통계적으로 예측하기 위해 개발된 수많은 공식이 있었으나 현재 일반적으로 받아들이는 공식으로는 세 가지가 있으며, 이들 세 가지 공식은 실제적인 최종 값의 범위를 지속적으로 정량화 할 수 있으며 또한 최종적인 비용추정의 범위를 통계적으로 예측하기 위하여 프로젝트에 대한 세 가지 변수를 결정해야 한다.

- 일정에 대하여 실제로 투입된 실제비용의 총합.
- 잔여작업(Work Remaining : 이하 WR)의 값을 결정하여야 하는데, 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

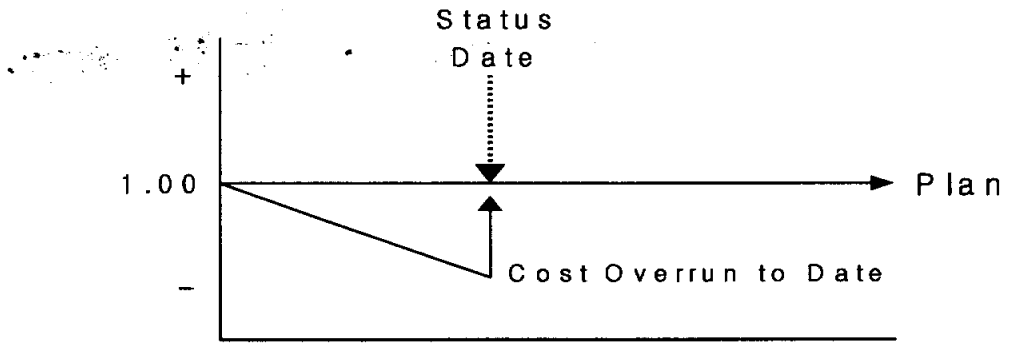
- 잔여작업을 누적CPI 혹은 CPI와 SPI를 조합한 값, CPI와 SPI에 적정한 비율로서 조합한 값과 같은 성과효율요인으로 나눈 값을 결정해야 한다. 따라서 이들 세 가지 변수들은 프로젝트의 최종비용을 통계적으로 예측 가능하다.

4.2.2 최종 예상 공사비의 추정 방법

(1) 초과일정(공정)에 대한 정량화 된 EAC 예측

$$EAC = AC + \frac{WR(BAC - EV)}{1.0pf}$$ 30)

이 경우에 사용된 성과계수(인자) 1.0은 미래에 해야 할 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 최종 비용이라 할 수 있는 범위 내에서 가장 적은 값을 보여준다는 점에서 유용성을 가진다.



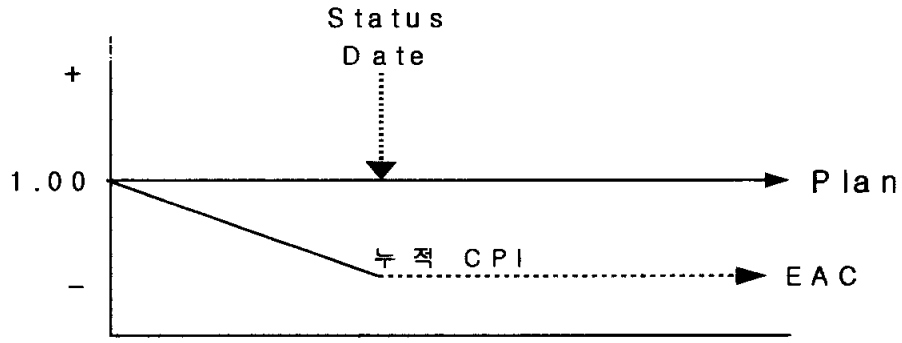
<그림 4.2> 초과공정에 대한 정량화 된 EAC

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

(2) 누적CPI에 의한 EAC 추정(낙관적인 예측방법)

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

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.

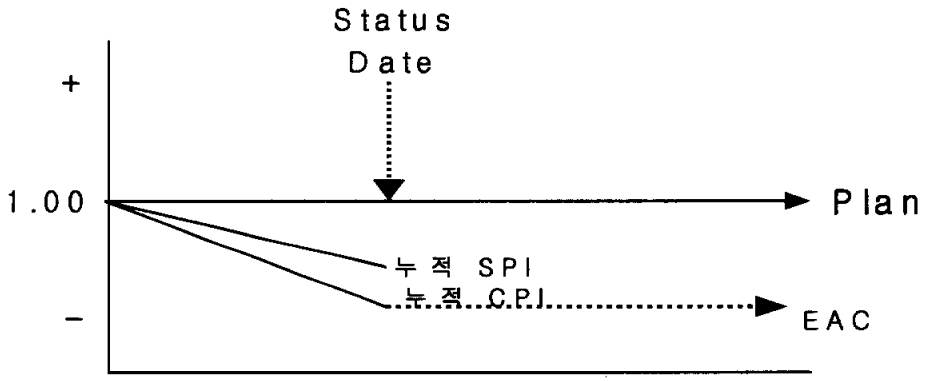


<그림 4.3> 누적CPI에 의한 EAC

(3) CPI와 SPI의 조합에 의한 추정(비관적인 예측방법)

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

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 4.4> CPI와 SPI의 조합에 의한 EAC

(4) 조합 값에 의한 최종 예상 공사비 예측

예상되는 최종 예상 공사비는 두 극단적인 상황 안에 존재하게 되므로 비용성과지수와 공정성과지수를 적정한 비율로서 조합하여 최종 예상 공사비를 추정한다.

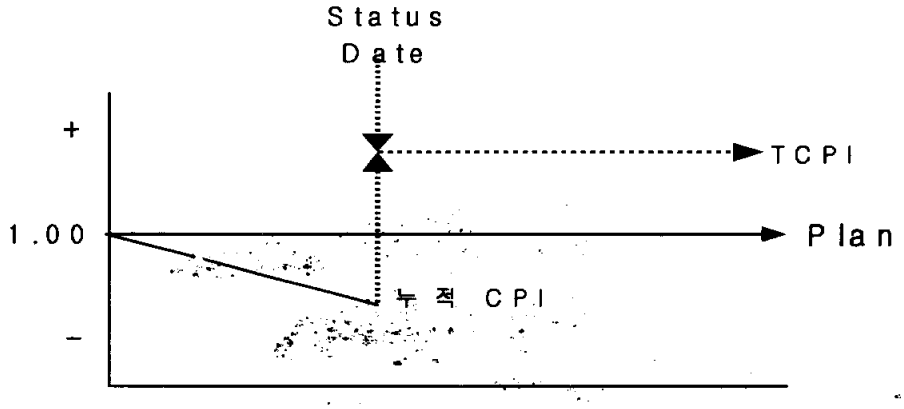
$$\text{조합값에의한최종예상공사비} = \text{실투입공사비} + \frac{\text{잔여공사}}{W_1\text{비용지수} \times\ W_2\text{공정지수}}$$

$$= AC + \frac{WR}{W_1 CPI \times\ W_2 SPI}$$

(단, 여기서 가중치 W1과 W2는 $W_1 + W_2 = 1$ 이다.)

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

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



<그림 4.5> 잔여 성과지수 (TCPI)

4.3 EAC 평가 방법에 대한 타당성 검정

4.3.1 비모수 검정

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.

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(Nonparamet)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.

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, 월드-월포비치 검정, 크루스칼-윌리스 검정, 중앙값 검정이 있다.

(1) 맨-휘트니 검정(Mann-Whitney Test)

Mann - Whitney 검정은 Mann과 Whitney가 공동으로 연구해서 발표한 검정기법인데, 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 맞는다는 가정 하에 우리가 구한 값이 나올 수 있는 확률로, p-value는 우리가 설정하는 유의수준 α보다 작으면 귀무가설을 기각하게 된다. 또는 검정통계량의 관측 값에 대하여 귀무가설 H_0를 기각할 수 있는 최소의 유의수준을 p-value 또는 유의확률이라 한다.[31]

(3) one-tailed test(단측검정 또는 한쪽검정)

검정에서 방향이 정해질 때를 one-tail이라고 하며, 한쪽이 다른 한 쪽보다 크다고 연구가설을 세울 때 단측검정을 사용한다.[32]

---

31) 허문열, 송문섭, "수리통계학", 박영사, 1997, p.310
32) 강석복, 오창혁 외 2인, "통계학(원리와 기법)", 형설출판사, 1997, pp. 285

4.3.2 EAC를 예측하기 위한 평가방법

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

<표 4.1> 최종예상 공사비 평가 방법

1. 비용편차와 비용성과지수와 관련된 평가방법	**1-1** 최종비용편차(CV final)는 20%달성시점에서 비용편차(CV20%)보다 나빠지지 않을 것이다. **1-2** 누적 비용성과지수(cum CPI final)는 20%달성 시점의 누적 비용성과지수(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%달성 시점에서 공정편차(SV20%)보다 나빠지지 않을 것이다. **2-2** 누적 공정성과지수(cum SPI final)는 20%달성 시점에서 누적 공정성과지수(cum SPI 20%)보다 0.1이상 변하지 않을 것이다. **2-3** 최종누적공정성과지수는 나빠지지 않을 것이다.

4.3.3 타당성 평가를 위한 가설의 설정

앞에서 나타낸 EAC의 평가방법을 검정하기 위하여 비용과 공정에 관련하여 H_0로 표현되는 귀무가설과 H_A로 표현되는 대립가설을 각각 네 가지로 구분하여 가설을 설정하였다.

<표 4.2> 비용편차·비용성과지수 관련 가설설정

비용편차 및 비용성과지수와 관련한 가설	
귀무가설(Null Hypothesis)	**대립가설(Alternative Hypothesis)**
$H1_0$: CV₩ final-CV₩ 20≥0 비용편차는 더 나빠지지 않을 것이다	$H1_A$: CV₩ final-CV₩ 20<0 비용편차는 더 나빠질 것이다
$H2_0$: CV% final-CV%20≥0 비용편차비율은 더 나빠지지 않을 것이다	$H2_A$: CV% final -CV%20<0 비용편차비율은 더 나빠질 것이다
$H3_0$: | CPI final - CPI20 | ≥0.1 CPI는 0.1이상까지 변할 것이다.	$H3_A$: | CPI final - CPI20 | <0.1 CPI는 0.1이상 변하지 않을 것이다.
$H4_0$: CPI final - CPI 20≥0 최종 CPI는 더 나빠지지 않을 것이다	$H4_A$: CPI final - CPI 20<0 최종 CPI는 더 나빠질 것이다

<표 4.3> 공정편차·공정성과지수 관련 가설설정

공정편차 및 공정성과지수와 관련한 가설	
귀무가설(Null Hypothesis)	**대립가설(Alternative Hypothesis)**
$H5_O$: SV₩ final-SV₩ 20≥0 공정편차는 더 나빠지지 않을 것이다	$H5_A$: SV₩ final-SV₩ 20<0 공정편차는 더 나빠질 것이다
$H6_O$: SV% final-SV%20≥0 공정편차비율은 더 나빠지지 않을 것이다	$H6_A$: SV% final -SV%20<0 공정편차비율은 더 나빠질 것이다
$H7_O$: |SPI final - SPI20 | ≥0.1 SPI는 0.1이상까지 변할 것이다.	$H7_A$: |SPI final - SPI20 |<0.1 SPI는 0.1이상 변하지 않을 것이다.
$H8_O$: SPI final - SPI 20≥0 최종 SPI는 더 나빠지지 않을 것이다	$H8_A$: SPI final - SPI 20<0 최종 SPI는 더 나빠질 것이다

최종 예상 공사비를 평가하는 첫 번째 방법은 비용편차와 공정편차[33]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

33) 여기서 공정편차는 비용의 개념으로 나타낸다.

계획 비용 사이에서의 차이처럼 정의되었다. 그리고 비용편차의 비율은 비용편차를 EV로 나눈 것이며, 공정편차의 비율은 공정편차를 EV로 나눈 것이다.

$$\text{비용편차}(CV₩) = \text{실적공사비} - \text{실투입비용}$$

$$\text{공정편차}(SV₩) = \text{실적} - \text{계획공사비}$$

$$\text{비용편차의비율}(CV\%) = (\frac{CV₩}{EV}) \times 100$$

$$\text{공정편차의비율}(SV\%) = (\frac{SV₩}{EV}) \times 100$$

최종 예상 공사비를 평가하는 두 번째 방법은 누적비용성과지수와 누적공정성과수에 관계하는 것으로 비용성과지수가 1이하이면 비용편차가 커지므로 비용초과상태를 나타내며, 누적공정성과지수가 1이하이면 공정편차가 커져서 공정지연상태를 나타낸다.

누적 비용성과지수와 누적 공정성과지수의 안정성과 관련된 H3과 H7은 누적비용성과지수와 누적공정성과지수가 사업진도율 20%시점부터 평균값에서부터 0.1이상까지 변하지 않았고 앞으로 일어날 일에서 산출된 비용효율 또는 공정효율측면에서 그 타당성을 평가하는데 사용될 수 있다.

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

5. 일정·비용 통합관리 시스템의 적용 사례

5.1 적용 현장의 개요

본 연구에서 EV 적용 사례 대상으로 선정한 건설현장은 ○○사가 부산광역시 ○○구 ○○동에 건설한 748세대 중규모 아파트공사현장이다. 2000년 2월에 착공하였지만, 용지보상 문제와 분양저조로 인해 다소 늦어진 2002년 12월에 완공하도록 공정계획이 수립되었다. 총 공사금액이 550억원으로, 2003년 1월 완공 되었다,

아파트공사는 그 특성상 설계, 시공순서, 자원투입형태가 거의 동일하고 반복적이므로, EVMS를 이용한 관리체계를 수립하면 큰 파급효과를 기대할 수 있다. 게다가 본 현장은 비교적 공사규모가 크고, 부분적이지만 본사를 중심으로 자체적으로 구축한 ERP시스템에 의해 원가관리(Cost Management)가 이루어지고 있다. 그러나 한편으로는 형식적이고 주먹구구식의 공정관리가 이루어지고 있다.

따라서 본 연구에서 시도하고자하는 일정·비용통합에 의한 작업계획수립과 진도율 산정, EV 데이터 분석을 수행하는데 적합한 현장이라 판단된다.

<표 5.1> 사례 현장의 개요

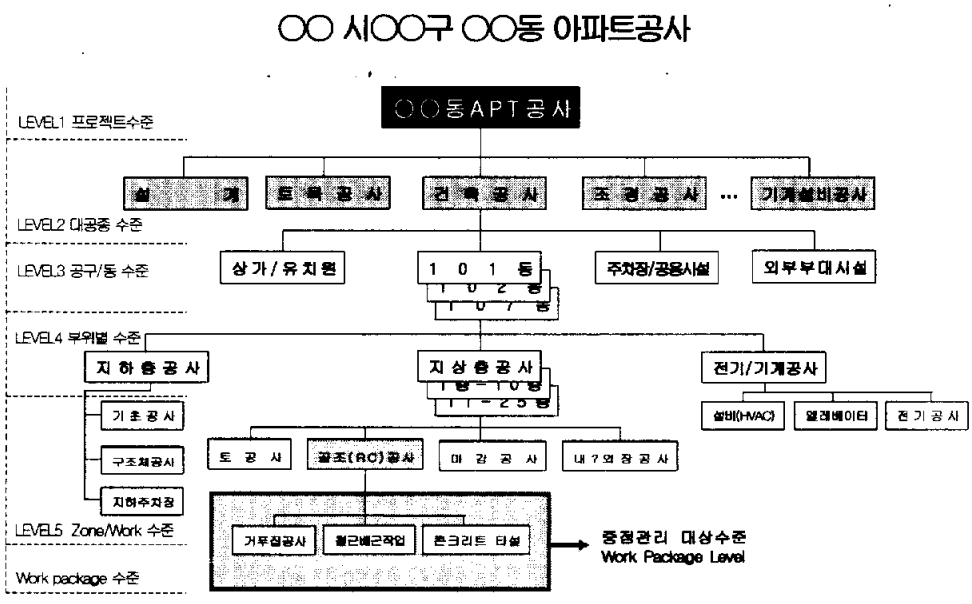
항 목	내 용	항 목	내 용
공 사 명	○○동 ○○아파트 건축공사	대지면적	8,576평 (건축면적 : 2,162평)
공사기간	2000년 2월 ~ 2003년 1월	현공정율	100%
규 모	7개동 각 25층 (총 748세대)	사업시행자	○○회사 외 3개업체

5.2 일정·비용 통합 계획의 수립

5.2.1 작업분류체계의 수립

사례 적용 시점에서 대상 현장은 40%가 넘는 공정 진행률을 보이고 있으며 자료축적과 분석에 대한 공사관리가 체계적으로 이루어지지 않아 자료수집에 많은 어려움이 있었다. 또한 정보공개상의 문제가 있기 때문에 본 논문에서는 철근콘크리트공사만을 대상으로 제한적인 연구를 수행하고자 한다.

일정과 비용을 통합한 관리계획을 수립하기 위해서는 먼저, 대상프로젝트의 범위정의를 위해 설계도서, 수량산출기준서와 통합정보 분류체계를 이용하여 하향식(Top-Down)형태로 작업을 분개한다. 이를 위해 프로젝트수준에서부터 최하수준인 Work Package 수준까지 총 6단계로 나누고, 프로젝트수행을 담당하는 조직과 연계하였다.



<그림 5.1> 작업분류체계의 구축

도식화된 작업분류체계를 공정관리 소프트웨어(P3)로 관리하기 위해 분개된 모든 수준의 작업분류체계(WBS)를 체계적으로 작성하였다. 이는 프로젝트분석 시 공정관리 소프트웨어를 이용하여 원하는 정보만을 손쉽게 추출할 수 있기 때문이다.

<표 5.2> 프로젝트 및 대공종수준의 비용분류체계

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
WBS1	E/P/C/구분		
	C	C. 사공(Construcion)	
	E	E. 엔지니어링(Engineering)	
	P	P. 구매(Procurement)	
WBS2	대공종분류		
	0		
	1	설 계	
	2	토목공사	
	3	건축공사	
	4	전기공사	
	5	기계설비공사	
	6	조경공사	
	X	기타공사	

<표 5.3> 공구/동 수준의 비용분류체계

[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
WBS3	건물(동)구분		
	0		
	100	아파트	
	101	101동(24평-25F)	
	102	102동(24평-25F, 32평-25F)	
	103	103동(37평-25F, 43평-25F)	
	104	104동(29평-25F)	
	105	105동(32평-25F)	
	106	106동(32평-25F)	
	107	107동(32평-25F)	
	200	주차장	
	300	공용시설/부대동	
	301	관리사무실	
	302	지하저수조	
	303	정화조	
	304	전기실(별도건물인 경우)	
	305	주민공동시설	
	306	노인정	
	307	경비실	
	400	상가/유치원	
	401	근린생활시설	
	402	보조상가	
	403	유치원	
	500	외부부대시설	

5.2.2 비용분류체계의 수립

일정과 비용을 통합한 프로젝트계획을 수립하기 위해 ERP시스템에 의한 원가보고서를 바탕으로 수립된 예산을 작업분류체계(WBS)와 연계(matching), Work Category(CBS4)/Work Package(CBS5)수준으로 분류하여 최하위 수준의 단위작업에 예산이 반영 되게 하였다. 각 단위작업의 진도율을 파악함으로써 EV측정이 이루어지도록 의도 한 것이다. 특히 Work Category(CBS4)는 내역중심의 원가관리체제와 맞추기 위해 중 공종 수준으로 유사하게 작성하였다.

그리고, EV개념에 의한 총공사비산정은 WBS에 의해 분류된 각 단위작업에 자원을 할당한 후, 이를 상향식(bottom-up)으로 누계하는 방식으로 산정하도록 하고 있다.[34]

<표 5.4> Work Category수준의 비용분류체계

CBS4	Work Category		
	0		
	1	공통가설공사	
	2	토공및지정공사	
	3	철근콘크리트공사	
	4	철골공사	
	5	조적공사	
	6	미장공사	
	7	가구공사	
	8	방수공사	
	9	타일공사	
	10	석공사	
	11	창호공사	
	12	유리공사	
	13	수장공사	
	14	도배공사	
	15	도장공사	
	16	금속공사	
	17	인테리어공사	
	18	잡공사	
	30	배관설비공사	
	40	전기공사	
	50	무대토목공사	

34) Fleming, Quentin W. and Coppelman, Joel M., "Earned Value Management" Project Management Institute. 2000

<표 5.5> Work Package수준의 비용분류체계[철근콘크리트공사]

Work Package		항목(TITLE)	비 고
OBS5	D100	골조공사(거푸집, 철근, 콘크리트공사 일괄)	
	D110	거푸집공사	
	D120	철근 및 보강재공사	
	D130	콘크리트타설공사	
	D140	콘크리트양생공사	
	F100	시멘트블록공사	
	F110	조적양생공사	
	G100	시멘트모르타르바름	
	G110	바닥방통시스템	
	G120	모래 및 자갈채우기	

<표 5.6> 조직분류체계의 작성

코 드(CODE)	구 분(VALUE)	항 목(TITLE)	비 고
OBS1	담당업체		
	HDD	xx신업개발	
OBS2	담당부서		
	A0	건축부	
	C0	토목부	
	E0	전기부	
	M0	설비부	
	X0	공통	
OBS3	담당업체(협력사)		
	C001	골조공사-1(xxxx 개발)	

<표 5.7> 중 공종 수준으로 작성한 직접공사비 내역

OO동 아파트공사 직접공사비 내역

01년 09월 24일

W01	공통가설공사	438,630,345	1,203,891,753	327,648,120	1,970,170,218
W21	지반개량공사	150,119,384	208,581,248	152,589,632	511,290,264
W23	토공사	7,890,855	17,553,267	55,467,668	80,911,790
W24	지정공사	377,946,850	1,356,693,300	366,280,700	2,100,920,850
W26	철근콘크리트공사	2,744,464,190	4,512,772,209	105,927,500	7,363,163,899
W29	목공사	363,323,340	773,680,621		1,137,003,961
W32	배수공사	100,410,928	428,141,896	31,341,296	559,894,120
W37	도로및포장공사		330,000,000		330,000,000
W49	조경공사	316,752,640	1,186,543,693	47,735,906	1,551,032,239
W51	조적공사	154,963,542	119,515,183		274,478,725
W52	미장공사	959,155,420	526,420,083	735,000	1,486,310,503
W53	방수공사	155,768,230	100,212,760		255,980,990
W58	창호 및 유리공사	129,202,490	2,661,891,300		2,791,093,790
W61	타일 및 돌공사	353,722,600	981,748,510		1,335,471,110
W63	도장공사	180,730,490	148,198,940		328,929,430
W64	수장공사	128,128,450	1,160,971,570		1,289,100,020
W65	가구공사		3,771,946,638		3,771,946,638
W66	외부부속건축물공사	606,491,920	1,400,534,443	358,702,229	2,365,728,592
W69	건축물부대공사	24,431,250	706,695,105		731,126,355
W71	배관설비공사	791,466,240	2,784,373,421		3,575,839,661
W72	보온공사	62,640	913,500		976,140
W74	공기조화설비공사	160,445,496	592,398,963		752,844,459
W78	운송설비공사		967,000,000		967,000,000
W84	배전설비공사	167,267,733	974,723,724		1,141,991,457
W86	전기공사	757,680,985	1,381,154,443	156,362,700	2,295,198,128
W89	정보통신설비공사	27,094,595	831,897,362		858,991,957
	소 계	9,096,150,613	29,128,417,932	1,602,790,751	39,827,395,298

<표 5.8> 세부적으로 작성된 철근콘크리트공사에 대한 실행 예

실행예산 List - 철근콘크리트작업

현장명: 부산 [illegible] APT공사

거푸집공임	0010		C2000101	거푸집공임[B1]	B1		15,433.000	4.400	67,905,200
거푸집공임	0020		C2000102	거푸집공임[1F]	1F		13,914.000	6.000	83,484,000
거푸집공임	0030		C2000106	거푸집공임[16F]	16F		13,891.000	5,250	72,927,750
거푸집공임	0040		C2000107	거푸집공임[17-20F]	17-20F		55,474.000	4.210	233,545,540
거푸집공임	0050		C2000108	거푸집공임[21-25F]	21-25F		69,368.000	4,210	292,039,280
거푸집공임	0060		C2000603	거푸집공임[옥탑, 21-25F]	옥탑		11,172.000	7,100	79,321,200
거푸집공임	0070		C2000401	거푸집공임[계단실내벽, B1]	내벽, B1		516.000	5,330	2,750,280
거푸집공임	0080		C2000402	거푸집공임[계단실내벽,1F]	내벽, 1F		1,035.000	6,970	7,213,950
거푸집공임	0090		C2000403	거푸집공임[계단실내벽, 2-15F]	내벽, 2-15F	M2	11,154.000	4,470	49,858,380
거푸집공임	0100		C2000404	거푸집공임[계단실내벽, 16F]	내벽, 16F		864.000	6,200	5,356,800
거푸집공임	0110		C2000405	거푸집공임[계단실내벽, 17-20F]	내벽, 17-20F		3,508.000	5,160	18,101,280
거푸집공임	0120		C2000406	거푸집공임[계단실내벽, 21-25F]	내벽, 21-25F		4,347.000	5,160	22,430,520
거푸집공임	0130		C2000105	거푸집공임[2-15F]	2-15F		181,821.000	3,530	641,828,130
거푸집공임	0140		C2000501	거푸집공임[박공, 1-15F]			1,089.000	8,300	9,038,700
거푸집손료	0010		C2030105	합판거푸집손료[2-15F]	계단실내벽		12,707.000	3,450	43,839,150
거푸집손료	0020		C2030106	합판거푸집손료[16-20F]	계단실내벽		4,370.000	3,500	15,295,000
거푸집손료	0030		C2030107	합판거푸집손료[21-30F]	계단실내벽		4,347.000	3,500	15,214,500
철근가공조립	0010	04010210		Re-Bar(High-Yield)-D10	D10		2,081.000	315.000	655,515,000
철근가공조립	0020	04010213		Re-Bar(High-Yield)-D13	D13		1,397.000	310.000	433,070,000
철근가공조립	0030	04010216		Re-Bar(High-Yield)-D16	D16		561.000	305.000	171,105,000
철근가공조립	0040	04010219		Re-Bar(High-Yield)-D19	D19		478.000	305.000	145,790,000
철근가공조립	0041	04010219		Re-Bar(High-Yield)-D19		Ton	-	305.000	-
철근가공조립	0050	04010222		Re-Bar(High-Yield)-D22	D22		28.000	305.000	8,540.000
철근가공조립	0060		C3000303	철근가공조립[B1-15F]	B1-15F		3,087.000	128.000	395,136,000
철근가공조립	0070		C3000304	철근가공조립[16-20F]	16-20F		696.000	131.000	91,176,000
철근가공조립	0080		C3000305	철근가공조립[21-30F]	21-30F		799.000	139.000	111,061,000
철근가공조립	0090	17010510		토이락보드-5T*450*900		SHT	19,491.000	165	3,216,015
철근가공조립	0100	24060100		지수판-120*5T		M	1,048.000	1,550	1,624,400
철근가공조립	0110	10250101		측벽용 Bracket용-300*600			303.000	7,100	2,151,300
철근가공조립	0120	10250201		Parapet용 Bracket			126.000	6,300	793,800
철근가공조립	0130	10250401		Slab용 Bracket		EA	109.000	6,300	686,700
철근가공조립	0140	10250501		지지보수대 Bracket			194.000	4,700	911,800
철근가공조립	0150	10250800		Bracket	Bracket Bolt		606.000	1,200	727,200
철근가공조립	0160		C3010300	철근계근비[회/25ton]		HEE	184.000	5,000	920,000
철근가공조립	0170		C3000401	철근가공조립[박공, 1-5F]		Ton	13.000	162,000	2,106,000
콘크리트타설	0010	3013022		레미콘-25-135-08			462.000	36,900	17,047,800
콘크리트타설	0030	3013074		레미콘-25-240-12			1,550.000	43,300	67,115,000
콘크리트타설	0040	3013054		레미콘-25-240-12			3,993.000	41,900	167,306,700
콘크리트타설	0050	3013055		레미콘-25-240-15		M3	29,228.000	42,400	1,239,267,200
콘크리트타설	0060		C3202001	콘크리트타설[P/C, 1-30F]	P/C		42,251.000	2,600	109,852,600
콘크리트타설	0070		C3350000	Pump Car 사용료			42,371.000	2,500	105,927,500
콘크리트타설	0080	3013075		레미콘-25-240-15			7,138.000	43,700	311,930,600
콘크리트타설	0090		C3202201	콘크리트타설[박공, 1-30F]			120.000	4,300	516,000

5.2.3 EVMS의 운영

앞 절에서 수립한 작업·자원계획을 바탕으로 철근콘크리트공사에 대하여 실투입비용과 얻어진 실적진도를 비교하여 EV분석을 위한 데이터 시트를 작성하였다.

본 사례 대상의 평가 시점은 전체공정 중 43.5%가 진행되어 계획에 비해 공기가 다소 늦어 진 상태이며, 55,040,136,545원의 총 공사금액 중 26,933,717,965원이 집행되어 예상보다 공사금액이 초과 지출되고 있다.

<표 5.9> 계획대비 평가시점의 누적공사 실적

공종별	Work Package	항목(TITLE)	단가	단위	계획수량	금월투입수량	누계투입수량	계획예산	금월공사실적	누계공사실적
RC공사	골조공사	철근콘크리트공사						₩ 7,412,200,833	₩ 880,666,660	₩ 4,127,948,196
	거푸집공사	비계다리설치	₩ 101,435	EA	23			₩ 2,333,000		
	거푸집공사	쌍줄비계공임	₩ 3,301	M2	7,763			₩ 25,626,300		
	거푸집공사	잡자재비	₩ 260	M2	383,680	46,920	254,429	₩ 99,756,800	₩ 12,199,200	₩ 45,628,520
	거푸집공사	장비비소운반	₩ 170	M2	383,680	46,920	173,877	₩ 65,225,600	₩ 7,976,400	₩ 29,559,090
	거푸집공사	지수판설치공임	₩ 260	M	998		1,957	₩ 256,480	₩ -	₩ 248,820
	거푸집공사	거푸집공임	₩ 4,134	M2	383,586	46,920	173,877	₩ 1,585,801,010	₩ 168,134,580	₩ 674,303,910
	거푸집공사	거푸집손료	₩ 3,470	M2	21,424	2,667	9,819	₩ 74,348,650	₩ 9,201,150	₩ 33,875,550
	철근공사	철근가공조립	₩ 343,446	TON	5,988	657	3,820,643	₩ 2,056,555,215	₩ 277,162,270	₩ 1,183,502,514
	거푸집공사	토이락보드-5T450*900	₩ 165	SHT	19,491	6,000	17,000	₩ 3,216,015	₩ 960,000	₩ 2,720,000
	거푸집공사	지수판-120*5T	₩ 1,550	M	1,048		1,051	₩ 1,624,400	₩ -	₩ 1,660,272
	철근공사	철근가공조립[B1-15F]	₩ 125,633	TON	4,779	548	3,270	₩ 600,399,000	₩ 70,144,000	₩ 364,288,000
	콘크리트타설공사	콘크리트타설(레미콘)	₩ 42,545	M3	42,371	4,796	23,741	₩ 1,802,667,300	₩ 217,667,600	₩ 1,084,183,900
	콘크리트타설공사	콘크리트타설(P/C)	₩ 2,552	M3	84,742	9,548	50,012	₩ 216,296,100	₩ 24,347,400	₩ 108,079,200
	철근공사	SPACER	₩ 34	EA	235,561		47,000	₩ 8,009,074	₩ -	₩ 1,598,000
	철근공사	BAR-SPACER	₩ 32	EA	172,197		34,000	₩ 5,510,304	₩ -	₩ 1,088,000
	거푸집공사	현장정리 및 기타	₩ 260	M2	383,680	46,920	173,877	₩ 99,756,800	₩ 12,199,200	₩ 45,208,020
	거푸집공사	BRACKET 설치해체	₩ 3,300	EA	538			₩ 1,775,400	₩ -	₩ -
	거푸집공사	EURO FORM 손료	₩ 2,989	M2	235,700	29,865	108,303	₩ 704,545,140	₩ 88,893,900	₩ 318,594,050
	거푸집공사	PILE위치내기	₩ 500	EA	2,872		1,999	₩ 1,436,000	₩ -	₩ 999,500
	거푸집공사	WOOD FORM 손료	₩ 2,705	M2	126,556	14,388	101,075	₩ 342,329,560	₩ 38,415,960	₩ 148,865,850
	RC부대공사	공과잡비	₩ 177,403,000	L/S	1	1	9	₩ 177,403,000	₩ 19,309,000	₩ 78,385,000
	RC부대공사	RC공사(크랙보수비)	₩ 5,699	PY	25,016	1,000	1,000	₩ 142,566,100	₩ 5,160,000	₩ 5,160,000

<표 5.10> 누적공사비에 대한 CPI, SPI

Item / Work Package		2000 누적공사실적분석					
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	당월투입비용(AC)	누적비용(AC)	공정지수 (SPI)	비용지수 (CPI)
RC골조공사	거푸집공사	₩ 1,353,614,018	₩ 1,239,308,834	₩ 338,939,895	₩ 1,301,663,580	0.92	0.95
	철근 및 보강재공사	₩ 1,201,722,116	₩ 1,100,243,359	₩ 294,571,335	₩ 1,550,476,510	0.92	0.71
	콘크리트타설공사	₩ 908,533,530	₩ 831,812,921	₩ 228,412,316	₩ 1,192,263,100	0.92	0.70
	RC부대공사	₩ 143,986,095	₩ 102,390,112	₩ 24,469,000	₩ 83,545,000	0.71	1.23
	소 계	₩ 3,607,855,750	₩ 3,273,755,220	₩ 886,392,546	₩ 4,127,948,190	0.91	0.79

또한 분석대상공정인 RC 골조공사의 총공사비 7,412,200,833원 중 11월

까지의 누적계획공사비인 3,607,855,750원에 대해 4,127948,190원이 투입되었고, 얻어진 실적은 각 단위작업의 진도율을 산정하여 합산한 결과 3,273,755,220원이 달성되었다.

<표 5.11> 철근콘크리트공사에 대해 작성된 EV데이터분석시트

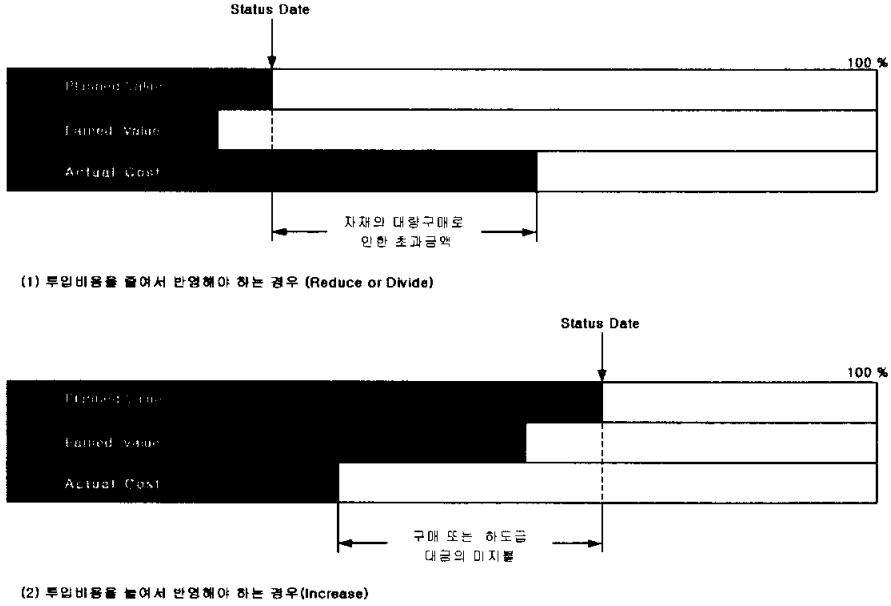
		₩ 3,607,855,750	₩ 3,273,755,220	₩ 4,127,948,190	0.91	0.79	₩ 7,412,200,833	₩ 4,136,445,613
			₩ 9,346,203,047	-₩ 1,934,002,214				FC골조공사[11-15층]
			₩ 9,878,747,968	-₩ 2,466,547,135			1.26	FC골조공사[16-20층]
			₩ 9,199,970,997	-₩ 1,787,770,164				-15

11월말까지 얻어진 결과를 바탕으로 EV데이터분석을 한 결과, 철근콘크리트작업의 비용 성과지수(CPI)는 0.79이며, 공정 성과지수(SPI)로 0.91이다. 이는 투입공사비에 비해 얻어진 실적이 매우 낮고, 또한 계획진도에 맞추지 못하고 있다는 것을 의미한다. 더구나, 잔여성과지수(TCPI)분석에 의하면 남은 공사를 통해 과다 지출된 현재의 공사비를 만회하고 총 공사금액 내에서 프로젝트를 완료하기 위해서는 1.33의 성과지수를 가지고 수행해야한다는 것을 지적 하고 있다. 이는 현재의 비용성과지수를 가지고서는 프로젝트가 계획된 총비용 내에서 완료될 수 없음을 말해주고 있고, 결국 비용초과(Cost overrun)를 피할 수 없음을 의미한다.

그리고, 철근콘크리트공사에 대한 최종공사비예측(EAC)은 단순히 비용지수만을 고려한 경우에는 9,346,203,000원이 예상되고 있으며, 비용지수와 일정지수를 둘 다 고려한 경우에는 9,878,748,000원이 예상되어 초기에 세웠던 공사금액인 7,412,200,000원보다 최소 1,934,002,000원에서 최대 2,466,547,000원이 더 추가될 것으로 예상된다. 일정증가에 대한 예상은 현재 15-17층 사이

에서 골조공사가 이루어지고 있는데 실제 공정계획에 따르면, 43.5%의 공정율에 도달했을 때는 18-20층 사이의 골조공사가 이루어져야 하므로, 약 15일 가량 공기가 늦어졌다 볼 수 있다.

그리고, 실투입공사비에 비해 얻어진 실적(EV)이 저조한 이유는 RC 골조공사 중 철근공사가 그 특성상 공기에 앞서 투입자재 모두를 현장에 미리 반입하였기 때문이다. 이러한 경우에는 일정에 맞추어서 실투입금액을 분할해 다시 재분배한 후, EV성과지수를 계산하여 진도에 맞추어 예측지표들을 재산출하여야 한다.



<그림 5.2> 실투입비용의 조정

EVMS를 적용하는데 있어 제일 중요한 것 중에 하나는 실적(Earned Value)을 보다 정밀하게 측정하는 것이다. 하지만 계획을 통해 수립된 계획공사비(Planned Value)와 투입된 실제투입공사비(Actual Cost)의 수치를 파악하는 것이 쉬울지 모르지만, 공사를 통해 얻어진 실적(Earned

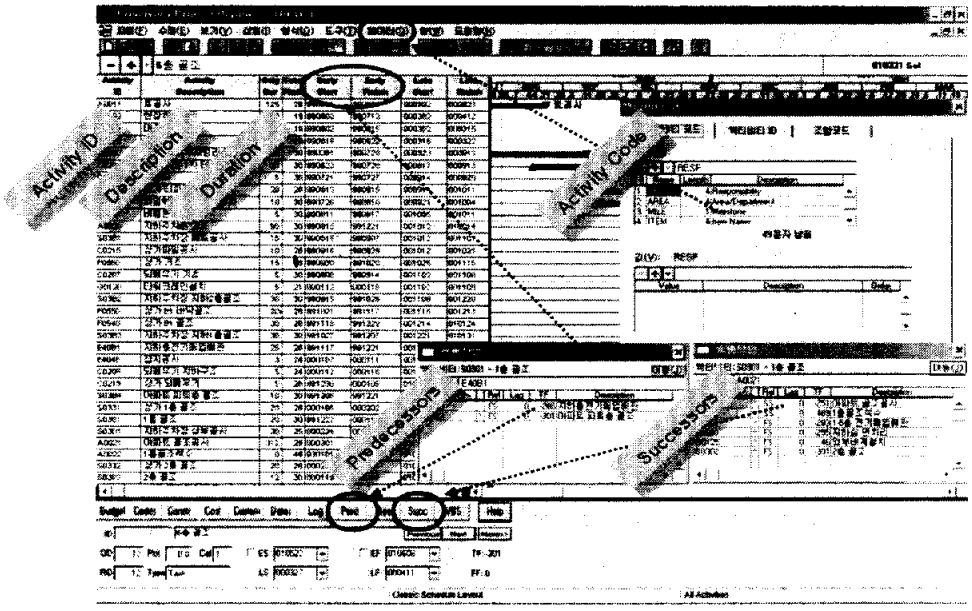
Value)을 정확하게 측정한다는 것은 거의 불가능하다. 경우에 따라서는 계획진도에 맞추어 일정의 공사금액을 실적(Earned Value)으로 반영하는 경우나 실투입비용을 EV와 혼돈하여 반영하는 경우가 발생할지도 모른다. 전자의 경우, 단지 기성 획득을 목적으로 하여 실제 프로젝트 내부 상황과는 관계없는 형식적인 보고가 이루어지도록 만들 수 가 있으며, 후자의 경우 분명 Output이 다르므로 실제 들어간 공사금액을 그대로 반영한다는 것은 적합하지 않을 것이다.

따라서, 투명하고 합리적인 공사관리를 위해서는 EV를 보다 정확하게 반영할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 EV 측정방법 중 보편적 형태로 일정과 비용을 가지는 각 단위작업들의 진도율에 의해 측정하는 방법을 적용하였다. 우리 건설산업의 현실 속에 이러한 진도율산정에 의한 EV 측정방법이 타당성을 가지기 위해서는 내역중심의 관리체계가 단위작업의 물량 또는 공사비와 호환될 수 있는 체계를 수립되는 것이 필요하다.

5.3 진도율 산정 방법의 비교

기존의 진도율 산정 방법과 본 연구에서 제시하는 진도율 산정 방법을 비교하기 위하여 매달의 진도율을 산정하였다. 그 중 진도율이 15%<표 5.12>, 20%<표 5.13>, 50%<표 5.14> 80%<표 5.15>인 네 지점을 추출하여 비교하였고, 그 결과는 <표 5.16>과 같다.

기성율을 사용하는 가장 중요한 이유가 건설 사업관리자가 진도율 15% 경과 시점부터 건설사업의 최종 예상 공사비와 공정에 대한 결과를 통계적으로 예측할 수 있고, 또한 건설사업에 대한 조기경보로서의 역할을 하기 때문에 15% 시점부터 진도율을 비교하였다. 일정가중치 산정을 위해서 P3를 사용하였다.



<그림 5.3> 여유시간의 산정

<표 5.12> 진도율 15%의 비교

구 분	물량기준 진도율	기존 방법		[redacted]		예정공정 상의 진도율
		가중치	진도율			
건축공사	19.84	0.57	11.31	0.62	12.30	
토목공사	43.29	0.07	3.03	0.07	3.03	
부대공사	16.71	0.07	1.17	0.06	1.00	
전기공사	0	0.12	0	0.10	0	
설비공사	0	0.10	0	0.08	0	
조경공사	0	0.03	0	0.03	0	
경상비	12.00	0.04	0.48	0.04	0.48	
총 계		1	15.99	1	16.81	15.92

<표 5.13> 진도율 20%의 비교

구 분	물량기준 진도율	기존 방법		[redacted]		예정공정 상의 진도율
		가중치	진도율			
건축공사	27.37	0.57	15.60	0.62	16.97	
토목공사	51.86	0.07	3.63	0.07	3.63	
부대공사	17.86	0.07	1.25	0.06	1.07	
전기공사	0	0.12	0	0.10	0	
설비공사	0	0.10	0	0.08	0	
조경공사	0	0.03	0	0.03	0	
경상비	15.75	0.04	0.63	0.04	0.63	
총 계		1	21.11	1	22.30	21.61

<표 5.14> 진도율 50%의 비교

구 분	물량기준 진도율	기존 방법		[redacted]		예정공정 상의 진도율
		가중치	진도율			
건축공사	50.89	0.57	29.01	0.62	31.55	
토목공사	66.29	0.07	4.64	0.07	4.64	
부대공사	69.86	0.07	4.89	0.06	4.19	
전기공사	40.33	0.12	4.84	0.10	4.03	
설비공사	53.00	0.10	5.3	0.08	4.24	
조경공사	0	0.03	0	0.03	0	
경상비	39.00	0.04	1.56	0.04	1.56	
총 계		1	50.24	1	50.21	51.04

<표 5.15> 진도율 80%의 비교

구 분	물량기준 진도율	기존 방법		[redacted]		예정공정 상의 진도율
		가중치	진도율			
건축공사	87.30	0.57	49.76	0.62	54.13	
토목공사	69.14	0.07	4.84	0.07	4.84	
부대공사	69.86	0.07	4.89	0.06	4.19	
전기공사	81.67	0.12	9.80	0.10	8.17	
설비공사	84.70	0.10	8.47	0.08	6.78	
조경공사	0	0.03	0	0.03	0	
경상비	60.00	0.04	2.4	0.04	2.4	
총 계		1	80.16	1	80.51	82.59

<표 5.16> 각 진도율 산정 결과

진도측정	예정공정상 진도율	실행 진도율	
		기존 방법	제안 방법 (가중 진도)
(1)	15.92	15.99	16.81
(2)	21.61	21.11	22.30
(3)	51.04	50.24	50.21
(4)	82.59	80.16	80.51

기존 방법과 제안 방법에 의해 산정된 진도율은 <표 5.16>과 같다. 각 진도율 산정 결과 두 경우 모두다 예정 진도율 보다 실제 일정이 지연되고 있는 것으로 나타났다. 기존 방법과 제안된 방법에 의한 진도율 산정에서의 차이점을 살펴보면 아래와 같다.

본 연구에서 제시하는 진도율 산정 방법에서는 기존의 방법에 일정에 의한 가중치를 추가하였다. 이 가중치의 상대적 비교를 통해 개별 작업들의 일정 지연 가능성에 따른 관리 중요도를 평가할 수 있다.

기존의 방법에 의한 진도율 보다 제안 방법에 의한 진도율이 빠른 것으로 산정된 진도율 15%, 20%일 때의 경우 주요 관리 대상이 되는 토목 및 건축공사의 물량기준 진도율이 다른 작업보다 높다는 것을 알 수 있다. 반면, 제안된 방법에 의한 진도율이 기존 방법에 의한 진도율 보다 느리게 나타난 진도율 50%의 경우에는 부대 및 설비공사의 물량기준 진도율이 건축공사 보다 높으며, 진도율 15%, 20%일 때와 비교하여 전기 및 설비공사의 물량기준 진도율이 높게 나타난 것을 알 수 있다.

진도율 80%일 때의 경우에는 부대공사, 전기 및 설비공사의 진도율이 토목공사 물량기준 진도율 보다 높게 나타났다. 그러나 총 작업 물량 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 주공정상의 건축공사 물량기준 진도율이 높기 때문에 기존 방법에 의한 진도율보다 약간 높게 산정되어 큰 차이

를 나타내지 않다는 것을 알 수 있다.

특히 예정공정표상 진도율 21%일 때 보다 기존 방법에 의한 진도율(21.11%)이 늦어지고 있는 것으로 나타났으나, 제안 방법에 의한 진도율(22.30%)은 여전히 높게 나타났다. 하지만 예정공정표상 진도율(51.04%)일 때의 경우에는 제안 방법에 의한 진도율(50.21%)이 더 낮게 나타났으며, 기존 방법에 의한 진도율(50.24%)은 여전히 낮게 나타나고 있다.

이와 같이 예정공정표상 진도율 보다 실 작업 진도율이 지연되는 시점이 다르게 나타나는 이유는 제안된 방법에 의한 진도율 산정에서는 진도율 21% 이후에도 주공정상의 작업인 토목공사의 진도율이 높게 산정되었기 때문이다.

따라서 사례 연구의 결과 만약 주공정선상의 작업이 늦어지고 있는 반면 다른 작업이 계획보다 먼저 진행될 경우 발생할 수 있는 공정 편차 산정상의 오류 가능성을 보여주고 있다. 즉 추가 비용 발생 및 공정 지연상의 리스크가 가장 크다고 할 수 있는 철근콘크리트 작업을 포함하는 건축공사가 계획보다 뒤처지고 있는 반면, 전기 및 설비 공사가 집행 금액상으로는 계획을 초과하여 결과적으로 전체 프로젝트 진행은 가중진도 방식으로 산정된 진도율 보다 안정적인 것으로 판단할 수 있다. 하지만 제안된 방법에 의한 진도율 산정은 공기 지연 가능성에 대한 리스크를 고려하여 달성진도를 산정함으로써 전체 작업의 진행 정도에 대한 공정 편차 산정상의 오류를 기존의 방법보다 좀더 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

그러므로 진도율 80% 산정이후 예정 진도율 보다 늦어진 일정을 맞추기 위해서는 물량기준 진도율의 변화에 따른 전체 작업 진도율의 변화가 크게 나타나는 토목 및 건축공사, 그 중에서도 건축공사에 대해 일정을 만회할 수 있는 적절한 조치를 취해야 한다는 것을 쉽게 알 수 있다. 특히 건축공사 중에서도 일정지연이 발생하고 있는 주 공정 작업(철근콘크

리트공사, 조적공사 등)에 대한 조치를 취하는 것이 가장 효과적일 것이다.

또한 기존 방법과 같이 전체 건설사업 계획비용에 대한 개별 작업들의 소요비용의 비율을 통해 계산된 소요비용의 가중치의 경우 작업들의 일정 지연 및 기타 사유로 인한 추가비용 투입 가능성에 따른 관리 중요도를 평가할 수 있다.

5.4 EAC 평가 방법에 대한 가설 검정

본 절에서는 앞서 말한바와 같이 EAC 평가를 위한 여섯 가지 평가 방법에 대한 타당성 검정을 위하여 여덟 개의 가설을 설정하여 가설검정을 실시토록 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 실제로 수행된 다섯 개의 프로젝트에 대한 EV 분석을 실시토록 하며, 가설검정을 통하여 최종적으로 국내 건설공사에 적합한 EAC 평가방법을 제시하도록 한다.

5.4.1 분석 대상의 선정

여섯 가지 평가방법의 타당성을 검정하기 위하여 8가지 가설이 세워졌다. 그리고 5개의 프로젝트를 대상으로 20%달성 시점에서와 80%달성시점이 경과한 후의 누적기성(EV), 누적실제비용(AC) 등에 대한 값을 분석하였다. 대부분의 도급자들은 사업진도율 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 비용보고에 대한 자료부족과 자료가 체계적으로 축적되지 못하여 5개의 프로젝트만을 대상으로 이루어졌으며, 정보공개상의 문제로 인하여 각 프로젝트의 철근콘크리트공사를 대상으로 가설검정을 수행하였다. 대상 프로젝트들은 모두 건설공사로서 프로젝트 D와 E를 제외한 A, B, C는 모두 아파트 공사이며 민간공사이다. 그리고 프로젝트D와 E는 일반건설공사이고 역시 민간공사다. 본 연구의 대상 프로젝트는 중·소규모의 건축공사와 아파트공사를 프로젝트 사례 대상으로 하였다. 이는 중·소규모의 건설공사는 자료분석 시간이 비교적 적게 소요되고, 아파트공사의 경우는 그 특성상 설계, 시공순서, 자원투입형태가 거의 동일하고 반복적이므로 EVMS를 이용한 관리체계 수립이 용이하기 때문이다. 즉, 성과분석이 정

확하게 이루어지므로 최종 예상 공사비를 정확하게 예측 가능하다. 프로젝트에 대한 개요는 <표 5.17>과 같다.

<표 5.17> 조사 대상 프로젝트의 개요

프로젝트	공 종	총 공사금액	철근콘크리트 금액	공사기간
A	아파트	55,041,136,545	7,362,499,483	'00.06~'02.12
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~'00.06

프로젝트들의 범위정의를 위하여 설계도서, 수량산출기준과 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 하였다.

5.4.2 대상 사례현장의 EV 분석

가설검정이전에 프로젝트들에 대한 데이터 분석이 필요하다. 즉, 프로젝트의 EV 자료 분석을 위하여 프로젝트들을 EVMS기법에 따라 재 작성 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 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 앞의 절에서 분석하였던 아프트 프로젝트A의 분석과정을 나타내고자 한다.

앞의 절에서 프로젝트A 작업의 범위를 정의하기 위하여 작업분류체계(WBS)를 작성하였다. 다음은 작업에 자원을 투입하여 공정율 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 5.18> 공정율 14.2%일 때의 실적분석

		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	-₩52,184,603	-₩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	₩285,409,840	₩338,915,993	0.842	0.902	-₩53,506,153	-₩30,967,094

<표 5.19> 공정율 20%일 때의 실적분석

		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩4,251,350	₩3,928,070	₩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

공정율 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 공정율 20%때에는 CPI가 0.925이고 SPI가 0.924로서 비용성과지수 및 공정성과지수가 더 이상 나빠지지 않았다.

<표 5.20> 공정율 34.2%일 때의 실적분석

		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩242,232,542	₩225,963,193	₩235,885,602	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	-₩89,341,874	-₩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 5.21> 공정율 43.5%일 때의 실적분석

		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩1,353,614,018	₩1,279,408,335	₩1,301,663,580	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	-₩357,698,990	-₩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 5.22> 공정율 55%일 때의 실적분석

Work Package	Time	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	-₩1,974,551,232	-₩109,530,697
	콘크리트 공사	₩2,113,426,321	₩1,821,919,242	₩1,842,567,100	0.989	0.862	-₩20,647,858	-₩291,507,079
	RC부대공사	₩147,671,663	₩122,549,098	₩141,052,000	0.869	0.830	-₩18,502,902	-₩25,122,565
	소 계	₩6,563,508,971	₩6,012,844,032	₩6,439,011,424	0.934	0.916	-₩426,167,392	-₩550,664,939

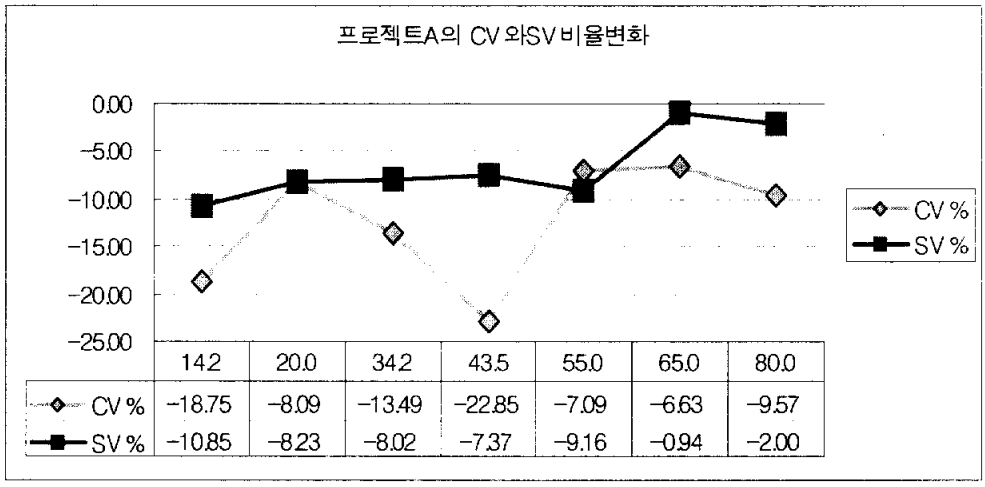
<표 5.23> 공정율 65%일 때의 실적분석

Work Package	Time	공정율65%일때 철근콘크리트 공사실적						
		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩2,896,079,364	₩2,895,108,325	₩2,901,456,216	0.998	1.000	-₩5,347,891	₩28,961
	철근 및 보강재공사	₩2,011,129,202	₩1,961,891,375	₩2,339,793,698	0.839	0.976	-₩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	₩149,574,165	₩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 5.24> 공정율 80%일 때의 실적분석

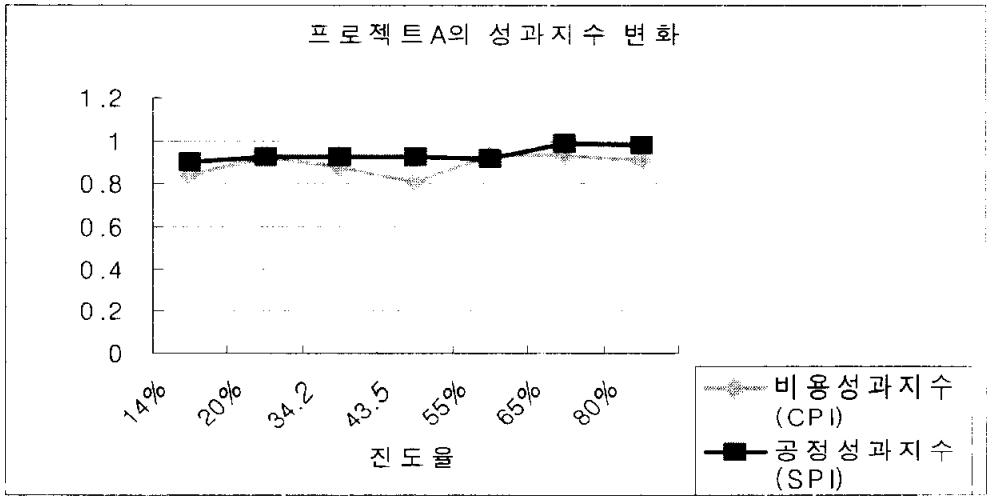
Work Package	Time	공정율80%일때 철근콘크리트 공사실적						
		누적공사실적분석						
		계획비용(PV)	실적진도(EV)	실투입비용(AC)	CPI	SPI	비용편차(CV)	공정편차(SV)
RC골조공사	거푸집공사	₩3,006,258,755	₩2,834,379,803	₩3,006,340,452	1.000	0.943	-₩171,960,649	-₩171,878,952
	철근 및 보강재공사	₩2,051,392,178	₩2,209,480,537	₩2,362,033,698	0.935	1.077	-₩152,553,161	₩158,088,359
	콘크리트 공사	₩2,050,155,100	₩1,973,398,190	₩2,267,192,500	0.870	0.963	-₩293,794,310	-₩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	₩7,132,156,277	₩7,814,910,980	0.913	0.980	-₩682,752,703	-₩142,643,166

사업진도율에 의한 프로젝트 A의 건축골조공사 중 철근콘크리트공사의 누적공사 실적분석을 통하여 비용편차와 공정편차 및 비용성과지수와 공정성과지수에 대하여 비교·분석하였다.



	14.2	20.0	34.2	43.5	55.0	65.0	80.0
CV %	-18.75	-8.09	-13.49	-22.85	-7.09	-6.63	-9.57
SV %	-10.85	-8.23	-8.02	-7.37	-9.16	-0.94	-2.00

<그림 5.4> 사례대상의 CV·SV비율의 변화

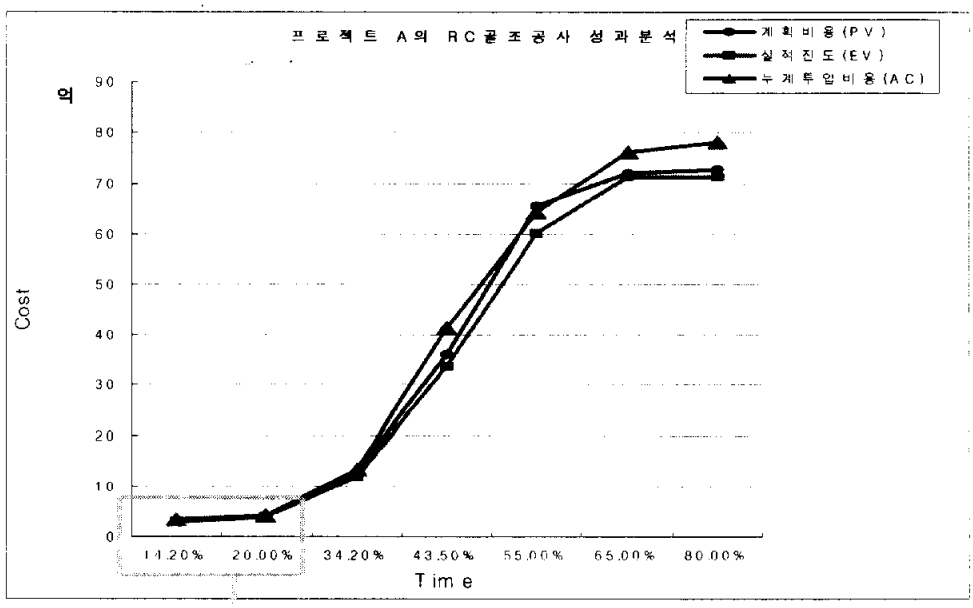


<그림 5.5> 사례대상의 성과지수의 변화

사업진도율에 따른 비용편차와 공정편차의 비율과 성과지수를 비교한 결과에 따르면 비용편차는 공정율 43.5%까지 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 5.5>는 프로젝트A의 건축골조공사 중 철근콘크리트공사에 대한 비용성과지수(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 철근콘크리트공사의 진행관리(Monitoring)를 위하여 비용편차, 공정편차, 비용성과지수 및 공정성과지수에 대한 EVMS 성과분석을 하였다.



<그림 5.6> 사례대상의 성과분석

<그림 5.6>는 프로젝트의 작업이 15%~20% 완성된 시점을 나타내는 것으로, 실행성과가 Schedule Plan에 지연되었고, 작업달성을 위해 견적된 예산보다 더 많은 비용이 투입되고 있음을 나타내고 있다. 그 외의 프로젝트 B, C, D, E에 대하여는 공정율 20%일 때와 80%일 때의 PV, EV, AC그리고 비용편차 및 공정편차는 <표 5.25>에 나타나있다.

<표 5.25> 사례 대상별 실적 분석

구분	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

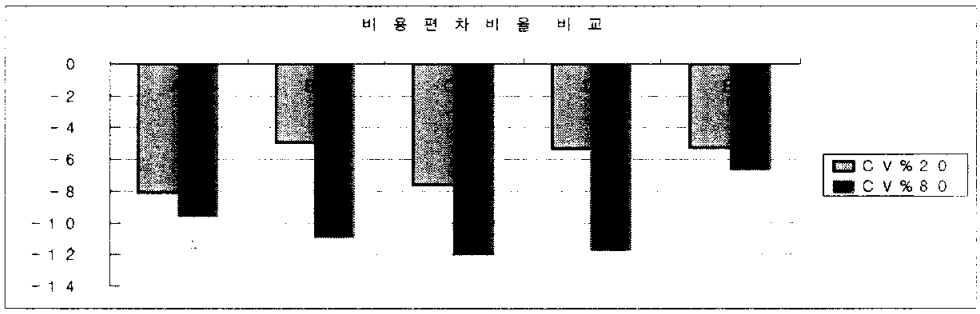
가설검정을 수행하기 이전에 각각의 프로젝트들에 대하여 사업진도율 20%일 때와 80%일 때의 비용편차비율과 공정편차비율 그리고 비용성과지수와 공정성과지수를 비교하였다. 그 결과는 다음과 같다.[35]

<표 5.26> 비용편차의 비율 비교

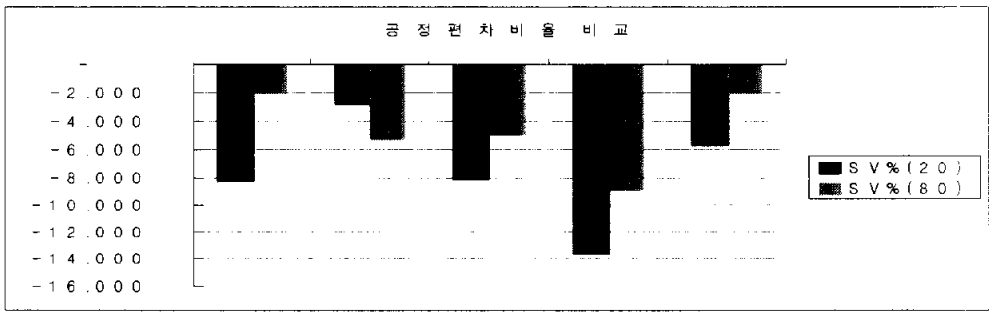
프로젝트	CV%20	CV%80
A	-8.09	-9.54
B	-4.93	-10.86
C	-7.64	-11.98
D	-5.37	-11.73
E	-5.26	-6.61

<표 5.27>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



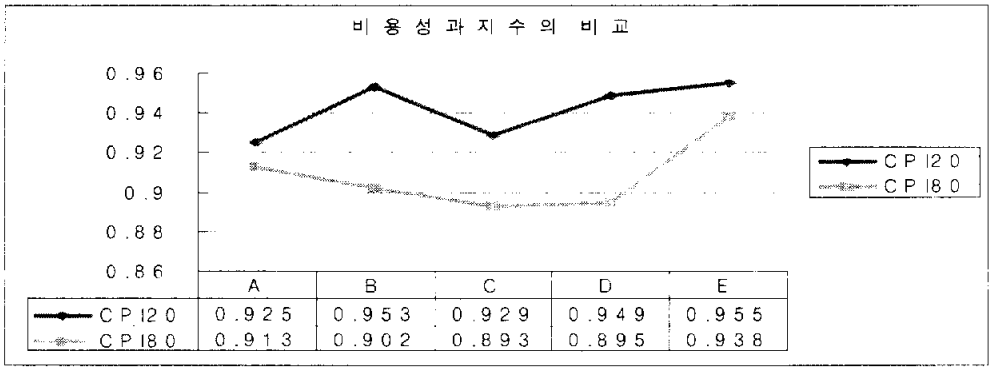
<그림 5.7> 비용편차의 비율 비교



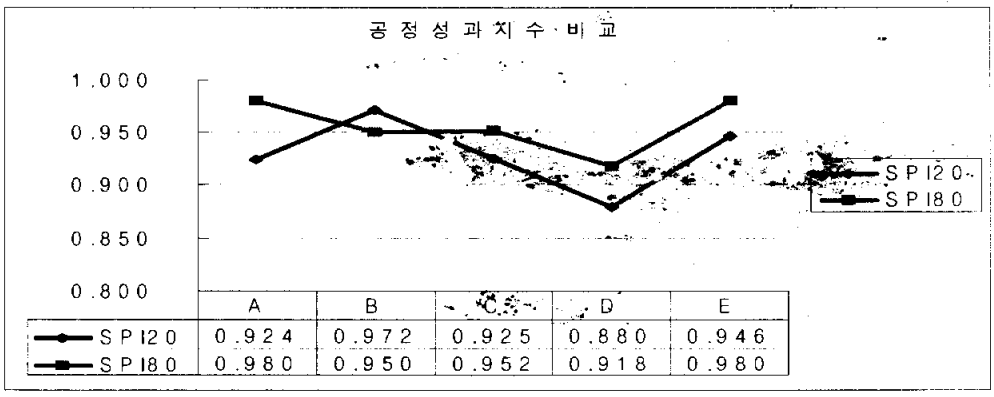
<그림 5.8> 공정편차의 비율 비교

35) 본 절의 사례대상에 대한 EV분석 결과 CPI와 SPI의 경향이 사례대상 프로젝트는 모두 비슷한 경향을 보였으나, 이것을 모든 건설 프로젝트에서 이와 같은 경향을 나타낼 것으로 일반화하기에는 무리가 있다. 하지만 본 절의 사례대상이 일반적인 건축 프로젝트를 사전분석 없이 무작위 선정하여 분석한 결과인 만큼 분석결과의 신뢰성에는 크게 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

비교한 결과 비용편차의 비율은 20%시점보다 80%시점에서 비용편차의 비율이 더 나빠진다는 것을 알 수 있으며, 공정 편차의 경우에는 20% 시점보다 80% 시점에서의 비율이 점차 낮아지고 있다는 것을 알 수 있다.



<그림 5.9> 비용성과지수의 비교



<그림 5.10> 공정성과지수의 비교

CPI와 SPI의 경향(Trend)도 비용편차와 공정편차와 마찬가지임을 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.

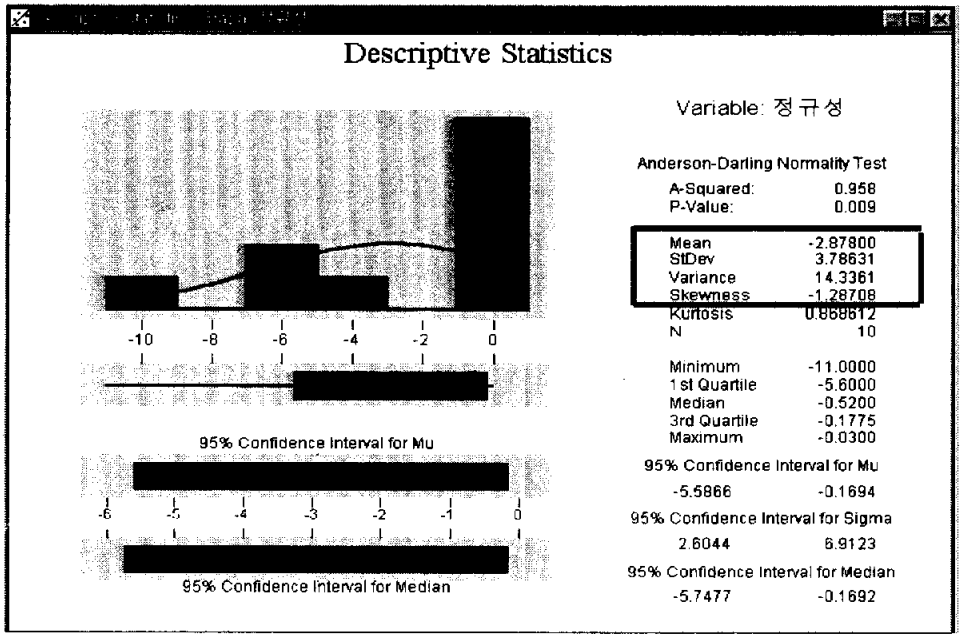
5.4.3 가설검정

분석 작업한 데이터는 미니탭을 이용하여 통계처리 하였다. 통계분석 방법은 비용편차와 비용성과지수, 공정편차와 공정성과지수를 설명하기 위하여 평균(Mean), 표준편차(St Dev), 표준오차평균(SE Mean)을 구했다.

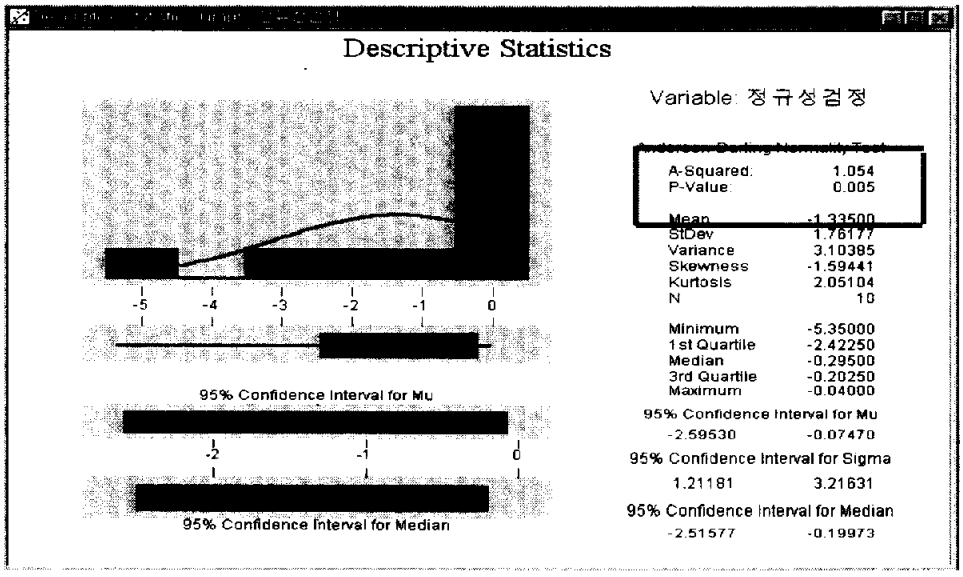
또한 사업진도율 20%경과시점과 80%경과시점에서 비용편차(CV), 비용편차에 대한 비율(CV%), 비용성과지수(CPI) 그리고 공정편차(SV), 공정편차에 대한 비율(SV%), 공정성과지수 값으로 얻어진 관측 값을 대응표본(paired sample)이라 하고 대응표본을 이용하여 위치모수의 차에 관한 추론문제를 다루는 대응비교를 이용하였으며 각각에 대하여 정규성 검토를 하였다.

그 결과 <그림 5.11>과 <그림 5.12>에 나타낸 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 α는 0.05로 하였다.



<그림 5.11> 비용편차의 정규성 검정



<그림 5.12> 공정편차의 정규성 검정

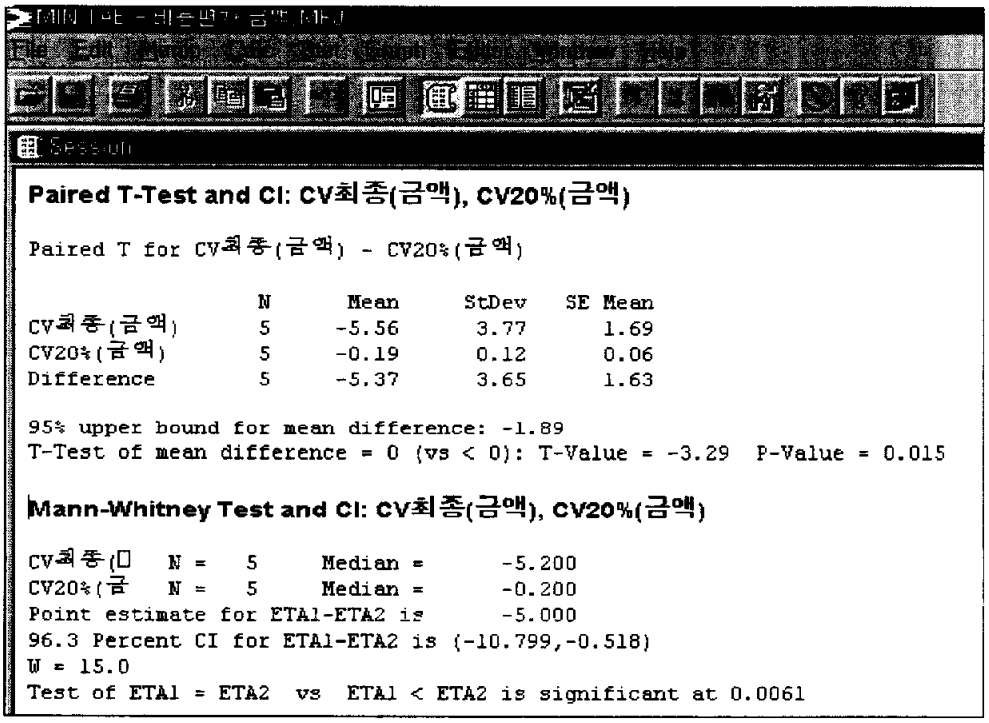
(1) 비용관련 가설검정 결과

최종 비용편차(금액과 비율)의 평균과 최종 비용성과지수의 평균은 20% 달성시점에서 그것들의 평균값보다 유의하므로 더 나빠져서 귀무가설 H1, H2와 H4는 기각되었다.

그림 <그림 5.13>에서 프로젝트들의 최종 비용편차(CV final)의 평균은 -5.56억원이고, 20%달성시점(CV 20)에서 비용편차의 평균은 -0.19억원이다.

-5.37억원의 비용편차의 평균은 통계적으로 유의하다. (one-tailed $p<0.0061$)

> $H1_O$: CV₩ final-CV₩ 20≥0 ⇒ 비용편차는 더 나빠지지 않을 것이다.
>
> $H1_A$: CV₩ final-CV₩ 20<0 ⇒ 비용편차는 더 나빠질 것이다.



Session

Paired T-Test and CI: CV최종(금액), CV20%(금액)

```
Paired T for CV최종(금액) - CV20%(금액)

                     N      Mean     StDev   SE Mean
CV최종(금액)         5     -5.56      3.77      1.69
CV20%(금액)          5     -0.19      0.12      0.06
Difference           5     -5.37      3.65      1.63

95% upper bound for mean difference: -1.89
T-Test of mean difference = 0 (vs < 0): T-Value = -3.29  P-Value = 0.015
```

Mann-Whitney Test and CI: CV최종(금액), CV20%(금액)

```
CV최종(□   N =   5     Median =      -5.200
CV20%(금   N =   5     Median =      -0.200
Point estimate for ETA1-ETA2 is      -5.000
96.3 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-10.799,-0.518)
W = 15.0
Test of ETA1 = ETA2  vs  ETA1 < ETA2 is significant at 0.0061
```

<그림 5.13> 미니탭을 이용한 비용편차(금액)의 검정결과

그러나 금액으로 나타낸 비용편차의 경우는 계약규모와 인플레이션이 고려되지 않았으므로 귀무가설이 기각되었지만, 이 경우 대립가설 역시 채택하기는 어렵다. 따라서 가설 H2에서 비용편차를 비율로서 나타내어 검정하였다. 그 결과 <그림 5.14>처럼 최종 비용편차의 평균은 -10.14이고, 20%달성시점에서 비용편차의 평균은 -6.25이다. -3.89의 비용편차 평균은 통계적으로 유의하므로 비용편차는 나빠진다(one-tailed $p<0.0184$).

$H2_O$: CV% final-CV%20$\geq$0 $\Rightarrow$ 비용편차비율은 더 나빠지지 않을 것이다.

$H2_A$: CV% final -CV%20<0 $\Rightarrow$ 비용편차비율은 더 나빠질 것이다.

Session

Paired T-Test and CI: CV%최종, CV%20

```
Paired T for CV%최종 - CV%20

                N      Mean     StDev   SE Mean
CV%최종         5   -10.144     2.194     0.981
CV%20           5    -6.258     1.484     0.664
Difference      5     -3.89      2.39      1.07

95% upper bound for mean difference: -1.61
T-Test of mean difference = 0 (vs < 0): T-Value = -3.63  P-Value = 0.011
```

Mann-Whitney Test and CI: CV%최종, CV%20

```
CV%최종     N =   5     Median =     -10.860
CV%20       N =   5     Median =      -5.370
Point estimate for ETA1-ETA2 is       -4.170
96.3 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-6.720,-1.239)
W = 17.0
Test of ETA1 = ETA2  vs  ETA1 < ETA2 is significant at 0.0184
```

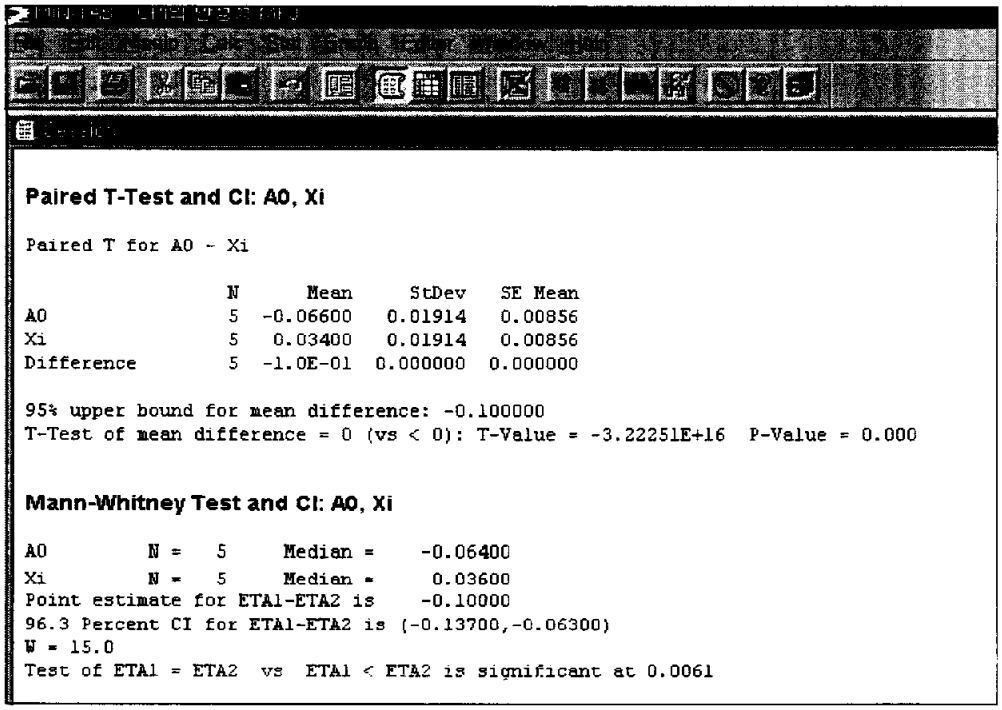
<그림 5.14> 미니탭을 이용한 비용편차(비율)의 검정결과

<그림 5.15>은 가설 3의 경우로서 귀무가설이 기각되었다. 따라서 누적비용성과지수는 20%달성시점에서부터 누적비용성과지수의 값이 0.1이상 변하지 않았으며, 이는 누적 비용성과지수의 안정성을 나타내는 것으로 누적 비용성과지수의 평균절대편차가 0.10이하로 유의하다.(one-tailed $p<0.0061$).

이때 Xi는 최종시점의 누적비용성과지수와 20%달성시점의 누적비용성과지수 차의 절대 값으로 누적비용성과지수의 평균절대편차를 나타낸 것이며, Ao는 누적비용성과지수의 평균절대편차가 0.1이상 차이를 보이는가를 알기 위한 것으로 이 두 가지의 차이 값이다.

$H3_O$: | CPI final - CPI20 | ≥ 0.1 $\Rightarrow$ CPI는 0.1이상까지 변할 것이다.

$H3_A$: | CPI final - CPI20 | <0.1 $\Rightarrow$ CPI는 0.1이상까지 변하지 않을 것이다.



Paired T-Test and CI: A0, Xi

Paired T for A0 - Xi

	N	Mean	StDev	SE Mean
A0	5	-0.06600	0.01914	0.00856
Xi	5	0.03400	0.01914	0.00856
Difference	5	-1.0E-01	0.000000	0.000000

95% upper bound for mean difference: -0.100000
T-Test of mean difference = 0 (vs < 0): T-Value = -3.22251E+16 P-Value = 0.000

Mann-Whitney Test and CI: A0, Xi

A0 N = 5 Median = -0.06400
Xi N = 5 Median = 0.03600
Point estimate for ETA1-ETA2 is -0.10000
96.3 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0.13700,-0.06300)
W = 15.0
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 < ETA2 is significant at 0.0061

<그림 5.15> 미니탭을 이용한 비용성과지수 안정성의 검정결과

$$X_i = |CPI80\% - CPI20\%| \quad A_O = X_i - 0.1$$

<그림 5.16>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.

$H4_0$: CPI final - CPI 20≥0 ⇒ 최종 CPI는 더 나빠지지 않을 것이다.

$H4_A$: CPI final - CPI 20<0 ⇒ 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
```

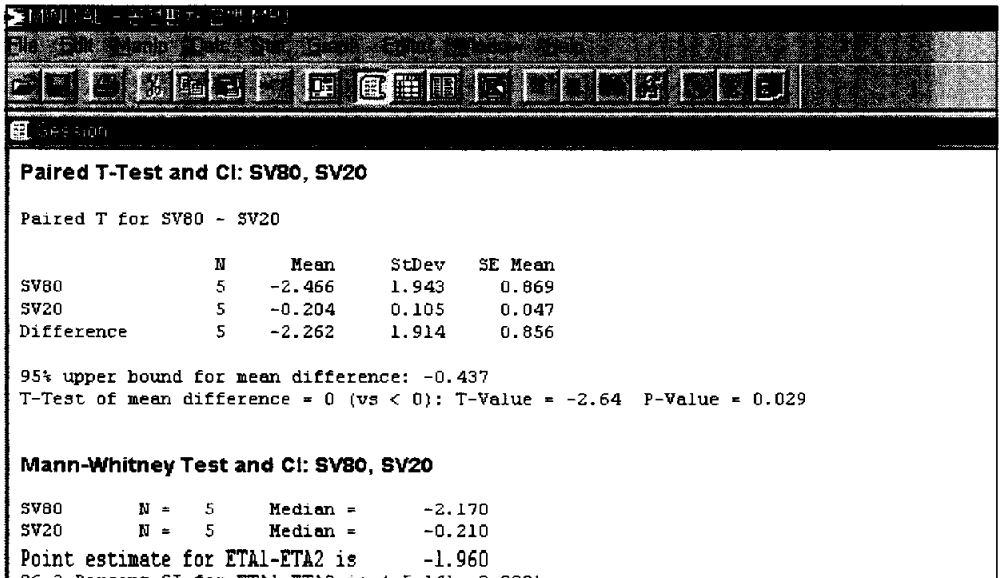
<그림 5.16> 미니탭을 이용한 비용성과지수의 검정결과

(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 유의하므로 더 나빠졌고, <그림 5.17>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 $p<0.0233$)

> $H5_0$: SV₩ final-SV₩ 20≥0 ⇒ 공정편차는 더 나빠지지 않을 것이다.
>
> $H5_A$: SV₩ final-SV₩ 20<0 ⇒ 공정편차는 더 나빠질 것이다.



Paired T-Test and CI: SV80, SV20

Paired T for SV80 - SV20

	N	Mean	StDev	SE Mean
SV80	5	-2.466	1.943	0.869
SV20	5	-0.204	0.105	0.047
Difference	5	-2.262	1.914	0.856

95% upper bound for mean difference: -0.437
T-Test of mean difference = 0 (vs < 0): T-Value = -2.64 P-Value = 0.029

Mann-Whitney Test and CI: SV80, SV20

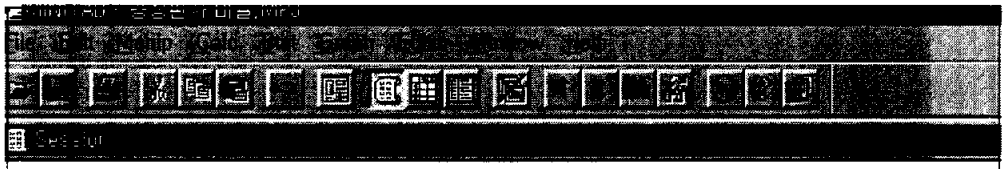
SV80 N = 5 Median = -2.170
SV20 N = 5 Median = -0.210
Point estimate for ETA1-ETA2 is -1.960
96.3 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-5.141,-0.000)
W = 17.5
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 < ETA2 is significant at 0.0236
The test is significant at 0.0233 (adjusted for ties)

<그림 5.17> 미니탭을 이용한 공정편차(금액)의 검정결과

공정편차 역시 비용편차와 마찬가지로 금액으로 나타낸 공정편차의 경우는 계약규모와 인플레이션이 고려되지 않아 대립가설이 채택되지 않는다. 따라서 가설H6에서 공정편차를 비율로서 나타내어 검정하였다. 그 결과 <그림 5.18>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 p값이0.05이상이다. 따라서 귀무가설을 기각할 수 없다.<"수리통계학"의 순위합 통계량표 참고>

$H6_0$: SV% final-SV%20≥0 ⇒ 공정편차비율은 더 나빠지지 않을 것이다.

$H6_A$: SV% final -SV%20<0 ⇒ 공정편차비율은 더 나빠질 것이다.



Paired T-Test and CI: SV%(80), SV%(20)

```
Paired T for SV%(80) - SV%(20)

                 N      Mean     StDev   SE Mean
SV%(80)          5     -4.63      2.85      1.27
SV%(20)          5     -7.70      3.96      1.77
Difference       5      3.07      3.28      1.46

95% upper bound for mean difference: 6.20
T-Test of mean difference = 0 (vs < 0): T-Value = 2.10  P-Value = 0.948
```

Mann-Whitney Test and CI: SV%(80), SV%(20)

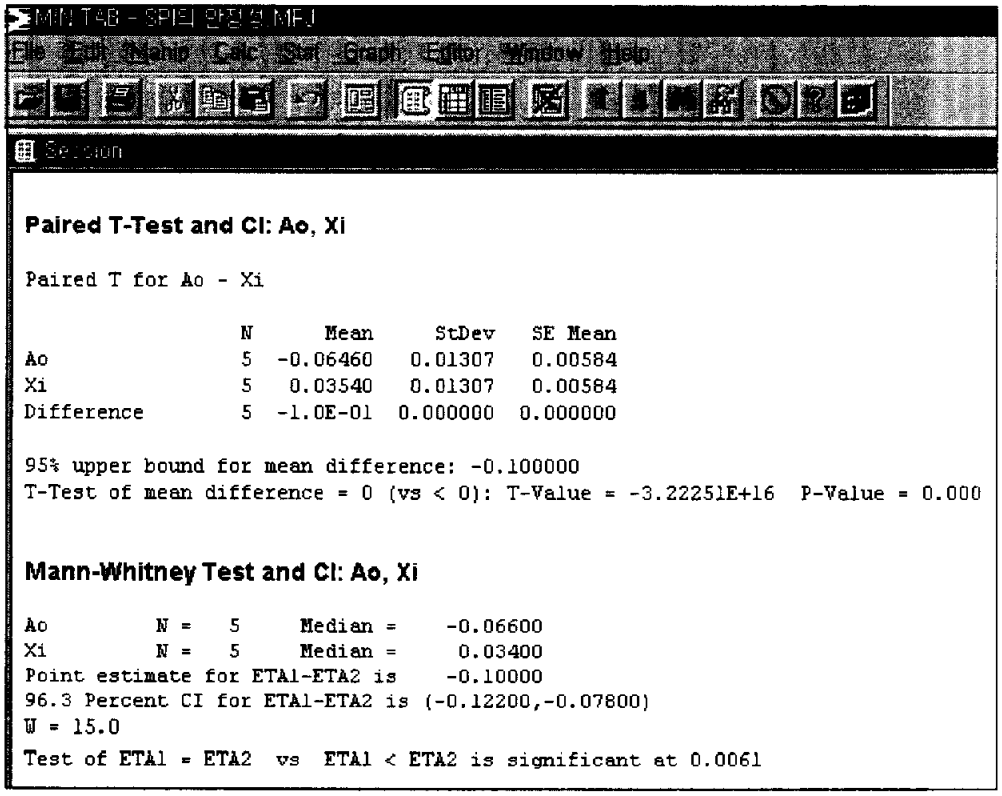
```
SV%(80)    N =   5     Median =      -5.000
SV%(20)    N =   5     Median =      -8.108
Point estimate for ETA1-ETA2 is       3.108
96.3 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-2.393,8.597)
W = 34.0
Test of ETA1 = ETA2  vs  ETA1 < ETA2
Cannot reject since W is > 27.5
```

<그림 5.18> 미니탭을 이용한 공정편차(비율)의 검정결과

<그림 5.19>는 가설 7의 경우로서 귀무가설이 기각되었다. 따라서 누적공정성과지수는 20%달성시점에서부터 누적공정성과지수의 값이 0.1이상 변하지 않았으며, 이는 누적 공정성과지수의 안정성을 나타내는 것으로 누적 비용성과지수의 평균절대편차가 0.10이하로 유의적임을 보여주고 있다(one-tailed $p<0.0061$).

$H7_O$: | SPI final - SPI20 | $\geq 0.1 \Rightarrow$ SPI는 0.1이상까지 변할 것이다.

$H7_A$: | SPI final - SPI20 | $< 0.1 \Rightarrow$ SPI는 0.1이상까지 변하지 않을 것이다.



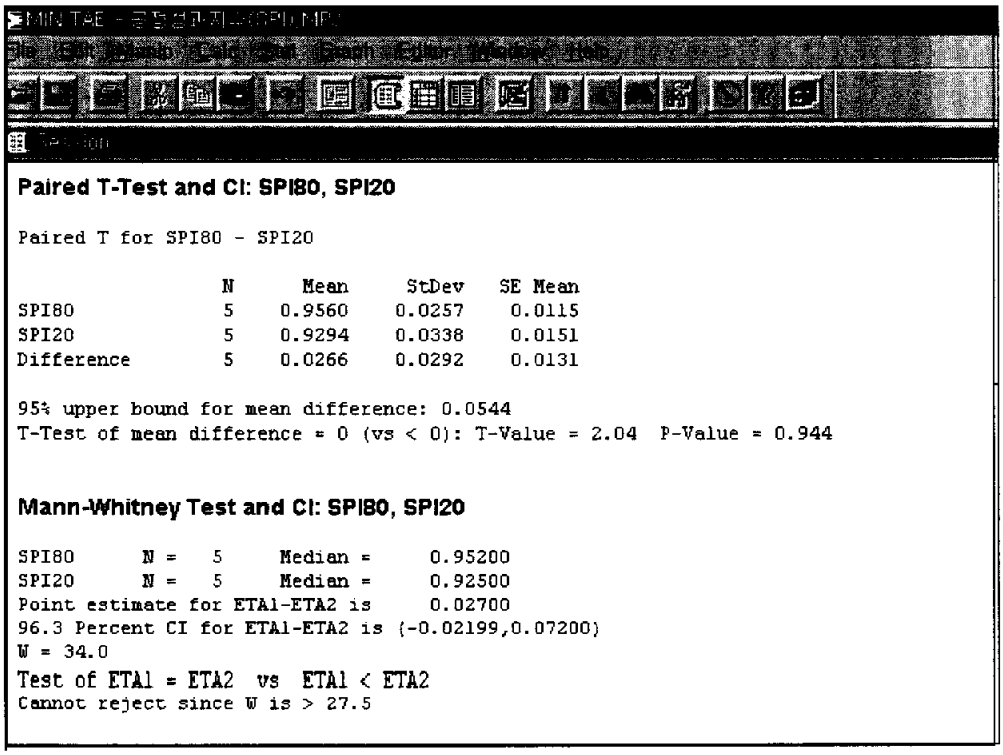
```
Paired T-Test and CI: Ao, Xi

Paired T for Ao - Xi

                N      Mean     StDev   SE Mean
Ao              5  -0.06460   0.01307   0.00584
Xi              5   0.03540   0.01307   0.00584
Difference      5  -1.0E-01  0.000000  0.000000

95% upper bound for mean difference: -0.100000
T-Test of mean difference = 0 (vs < 0): T-Value = -3.22251E+16  P-Value = 0.000


Mann-Whitney Test and CI: Ao, Xi

Ao          N =    5     Median =     -0.06600
Xi          N =    5     Median =      0.03400
Point estimate for ETA1-ETA2 is     -0.10000
96.3 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0.12200,-0.07800)
W = 15.0
Test of ETA1 = ETA2  vs  ETA1 < ETA2 is significant at 0.0061
```

<그림 5.19> 미니탭을 이용한 공정성과지수 안정성의 검정결과

<그림 5.20>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 p값이0.05이상이 된다. 따라서 공정성과지수는 나빠지지 않았으며, 귀무가설은 기각되지 않는다.

$H8_0$: SPI final - SPI 20≥0	⇒	최종 SPI는 더 나빠지지 않을 것이다.
$H8_A$: SPI final - SPI 20<0	⇒	최종 SPI는 더 나빠질 것이다.



Paired T-Test and CI: SPI80, SPI20

```
Paired T for SPI80 - SPI20

                N     Mean     StDev   SE Mean
SPI80           5   0.9560    0.0257    0.0115
SPI20           5   0.9294    0.0338    0.0151
Difference      5   0.0266    0.0292    0.0131

95% upper bound for mean difference: 0.0544
T-Test of mean difference = 0 (vs < 0): T-Value = 2.04  P-Value = 0.944
```

Mann-Whitney Test and CI: SPI80, SPI20

```
SPI80      N =   5     Median =     0.95200
SPI20      N =   5     Median =     0.92500
Point estimate for ETA1-ETA2 is     0.02700
96.3 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0.02199,0.07200)
W = 34.0
Test of ETA1 = ETA2  vs  ETA1 < ETA2
Cannot reject since W is > 27.5
```

<그림 5.20> 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 누적 공정성과지수 또한 나빠지지 않았다.

그리고 비용성과지수와 공정성과지수의 안정성과 관련된 가설3과 가설7의 검정결과 프로젝트들의 누적비용성과지수는 20%달성시점에서부터 최종누적비용성과지수의 평균값이 0.1이상 변하지 않았으며, 누적 공정성과지수 또한 20%달성시점부터 최종누적공정성과지수의 평균값 0.1이상 변하지 않았다. 따라서 비용성과지수와 공정성과지수는 사업진도율 20% 시점부터 오차율이 10%이내임이 검정되었다.

5.4.4 EAC 평가 방법의 제안

가설검정을 통하여 EAC 평가방법들에 대한 타당성을 검정함으로써, 국내 건설 프로젝트에 적합한 EAC평가방법을 제안하고자 한다.

가장 중요한 것은 CPI와 SPI의 안정성과 관련한 것으로, CPI와 SPI는 오차율 10% 이내에서 안정하다고 검정되었다. 그러나 프로젝트A의 EV 데이터분석 결과 공정성과지수의 경우는 사업진도율 15%~20% 시점부터 안정적인데 반하여 비용성과지수는 0.1이상의 증감이 있으므로 안정적이라고 보기는 어렵다.

따라서 본 연구에서 몇몇 프로젝트들을 대상으로 분석하였을 때 CPI가 안정적이었으나 모든 프로젝트에 CPI가 안정성을 띈다고 주장하는 것은 위험하다. 다만 이러한 결과는 국내 건설 환경의 특수성을 감안할 경우 시사하는 바가 크므로, 향후 더 많은 EV자료의 축적을 통해 재검정할 필요가 있다. 또한 본 사례 연구 대상은 국내 아파트 공사의 RC 골조공사에 한정되어 있어 다른 종류의 프로젝트에서도 적용 가능한가에 대한 의문이 남았으며, 마찬가지로 추후 이에 대한 검정이 필요할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 국내 건설 공사에 적합한 EAC 평가방법을 공정측면 중심으로 제안하고자 한다.

1. 최종공정편차(SV final)는 사업진도율 20% 시점의 공정편차(SV20%)보다 나빠지지 않을 것이다.

2. 누적 공정성과지수(cum SPI final)는 사업진도율 20% 시점의 누적 공정성과지수(cum SPI 20%)에서 0.1이상 변하지 않을 것이며, 최종 누적공정성과지수도 나빠지지 않을 것이다.

6. 결 론

국내 건설산업이 처해 있는 문제점들을 해결하기 위해서는 건설 프로젝트를 효율적으로 관리 할 수 있도록 하는 건설 관리 시스템인 EVMS 도입의 필요성과 중요성은 대단히 크며, 이를 위해서는 EVMS의 원활한 운영을 위한 방법론적 연구가 우선 되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 EVMS의 운영의 방법론적 문제점들을 짚어 보고 각각의 문제점들을 개선하기 위한 다각적인 연구를 통하여 연구한 결과 다음과 같은 결과를 도출 할 수 있었다.

첫째. EVMS의 성공적인 도입과 원활한 운영을 위해 본 연구에서는 제조업에서 이용되고 있는 MRP기법과 소프트웨어프로그램을 이용하여 현장에서 손쉽게 EV관리가 이루어질 수 있도록 하는 프로세스를 제시하였고, 이를 통해 의사결정에 필요한 정보를 획득하는 방법에 대하여 고찰하였으며, 사례분석을 통하여 프로세스의 원활한 운영을 확인 할 수 있었다.

둘째. 단위 작업들의 비용 초과 발생 가능성 및 일정지연 가능성에 기반한 가중치를 산정하는 방법으로 일정과 비용 정보를 반영 두 정보에 의한 가중치를 산정하는 프로세스를 구축하였다. 이는 현장의 정확하고 신속한 실적자료의 제공을 위해, 분할된 단위작업들의 가중치를 갖고 있는 내역항목의 집행물량을 측정하여 건설공사 진도율을 산정할 수 있도록 하기 위함이다.

셋째. 가중진도 산정 방법을 기존의 방법과 함께 실제 건설사업에 적용한 결과, 효과적으로 일정과 비용이 통합되어, 기존의 별도로 관리 되어

온 일정과 비용 정보가 통합되었다. 또한 두 정보에 의해 더욱 정확한 진도율 산정과 이를 통해 손쉽게 실제 진행 상황의 파악이 가능하였다.

넷째. 건설프로젝트에서 최종 예상 공사비를 정확하게 평가하고 현실적인 비용을 측정하는데 유용하게 사용하기 위한 이용 가능한 최종 예상 공사비 평가방법을 도출하기 위하여, EVMS 적용 시 최종 예상 공사비의 평가방법을 검토하고, 그에 대한 타당성을 검정하기 위해 가설검정을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

①최종비용편차(CV final)는 사업진도율 20% 시점의 비용편차(CV20%)보다 나빠졌다.

②누적비용성과지수(cum CPI final)는 사업진도율 20% 시점의 누적비용성과 지수(cum CPI 20%)에서 0.1이상 변하지 않으므로 안정성을 가지지만, 최종 누적비용성과지수는 나빠졌다.

③최종공정편차(SV final)는 사업진도율 20% 시점의 공정편차(SV20%)보다 나빠지지 않았다.

④누적 공정성과지수(cum SPI final)는 사업진도율 20% 시점의 누적공정성과지수(cum CPI 20%)에서 0.1이상 변하지 않으므로 공정성과지수는 안정성을 가진다. 그리고 최종 누적공정성과지수도 나빠지지 않았다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, " 건설사업관리 업무지침", 2001
2. 강성수외 공역, "생산시스템 운영관리", 사이텍미디어, 2001
3. 김경래, "건설공사의 비용/공정통합관리기준 씨스팩", 건설관리 및 경영, 한국 건설산업연구원, 보성각, pp 310-311
4. 김수용, 이양호, 안동근 "MRP 기법을 이용한 EV 프로젝트의 관리계정 계획", 건설관리학회지 한국건설관리학회, 2002.12
5. 김수용, 박은진, "건축골조공사의 최종 예상 공사비(EAC) 평가방법에 관한 연구", 보전경영학회지 한국보전경영학회, 2003.06
6. 김수용, 박세정, 황효수 "건설공사의 진도율 산정방법에 관한 연구" 보전경영학회지, 한국보전경영학회, 2004,06
7. 김양택, 현창택, "Work Packaging Model의 개선을 통한 공정 - 공사비 통합모델구축", 건설관리학회지 한국건설관리학회, 제1권 제4호, 2000, pp.82-90
8. 김영재, 김경래, 김선규, "총액계약 건설공사의 EVM 운영모델" 대한건축학회 논문집 구조계 18권6호(통권164호), pp127~134, 2002.06
9. 김선규, 김재준, "EVMS 최종공사비 예측 모델 최적성과지수에 대한 고찰", 건설관리학회지 한국건설관리학회, 제1권 제3호(통권 제3호), 2000, pp.101-107
10. 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
11. 김재준, "프로젝트 통합전산관리체계", 제3회 프로젝트관리기술회 정기심포지엄 논문집, 한국프로젝트관리기술회, pp 157-159
12. 노형진, "EXCEL2000을 활용한 통계적 품질관리", 형설출판사, 2000

13. 박세정, "국내 건설공사에서 EVMS 적용을 위한 진도율 산정방법", 석사학위논문, 부경대학교, 2003.08
14. 박은진, "EVMS에서 최종 예상 공사비(EAC) 평가방법에 관한 검증", 석사학위논문, 부경대학교, 2003.02
15. 박익수, "매트릭스기법에 의한 EVMS구현모델", CMP Journal, 한국기술사회, 제1권 제2호(통권 2호), pp.30-35, 2001
16. 배신호, "건설공사에 있어서 진도관리의 효율화에 관한 연구" 석사학위논문, 중앙대학교 건설대학원, 1989
17. 송문섭, " 비모수통계학개론" 자유아카데미, 1997
18. 송창영, 유붕열, 이수곤, "건설 프로젝트 관리를 위한 작업중심의 Earned Value Management System 모델의 연구", 2002
19. 이명호, 유지수, "경쟁우위확보를 위한 생산관리", 박영사, 1999
20. 임형철, 송영석, 김동진, 최정석, " 비용-일정 통합관리를 통한 건축공사 EVMS 구축, 대림기술정보, 2002
21. 이재섭, "공기 지연에 따른 손실비용 산정 기준" 한국건설산업연구원, 1999.12
22. 이준형, "통계분석", 수영문화사, 1998
23. 이복남, "건설공사 진도 및 기성고 산정 방법 개선", 한국건설산업연구원, 1997
24. 이양호, "MRP기법을 이용한 EVMS의 복합작업·자원계획에 관한 연구", 석사학위논문, 2002.02
25. 이유섭, 조창연, 오규환, 김정훈, "Earned Value 기반 프로젝트 관리체계 및 사례연구", 한국건설관리학회 학술발표대회논문집, 제3회, pp123~130, 2002.11
26. 이유섭, "공정·공사비 통합관리를 통한 건설 사업관리 선진화 방향" 건설경영정보센터, 2000

27. 이유섭, "건설공사 EVMS 적용방안", 한국건설기술연구원, 2001
28. 이화기, 정재원, "Constraint Programming을 이용한 자원제약 동적 다중 프로젝트 일정계획", IE Interfaces Vol.12, No3, 1999, pp.362-373
29. 이현수, " 건설사업비 관리" 서울대학교 건축학과
30. 이학기, "건설공사 사업비관리의 실태 및 개선방안", 동아대학교 건축학부
31. 임형철, 송영석, 김동진, 최정석, " 비용-일정 통합관리를 통한 건축공사 EVMS 구축, 대림기술정보, pp66~81, 2002
32. 원동수, "EVMS 적용을 위한 최적 성과측정기준선 설정 및 공정편차 산정 방법", 석사학위논문, 서울대학교, 2002.02
33. 원동수, 김우영, 이현수, " EVMS 적용을 위한 최적 성과측정기준선 설정 및 진도율 산정 방법" 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집 제2회 (2001-11)
34. 정남기, 유철수, "CALS 시대 생산관리", 청문각, 1998
35. 정영수, 이영환, "EVMS의 이해와 활용방안, 한국건설산업연구원, 1999
36. 진유나, 이상범, 김정길, "건설공사 수행지수에 따른 최종공사비 예측 방법에 관한 연구", 건축학회 부산·경남지회 학술발표대회 논문집, pp381~386, 2002.11
37. 최윤기, "일정과 비용을 통합한 건설공사 진도율 산정 시스템" 박사 학위논문, 서울대학교, 1999
38. 최윤기, " 단위작업별 내역물량 측정에 의한 공사 진도율 산정 모델" 대한건축학회논문집 구조계 18권2호(통권 160호), pp139-150, 2002.02
39. 한국건설산업연구원, "건설관리 및 경영", 보성각, 2000
40. 홍성훈, 권혁무, 이민구, 김상부, "6시그마를 위한 기초통계 및 MINITAB사용법", KSA 한국표준협회, 2000
41. 허문열, 송문섭, " 수리통계학" 박영사, 1997
42. Abba, Wayne F, "Cost/Schedule Control System Criteria White

Paper", Program Manager, 15:45-47, 1986

43. Abba, Wayne, "Earned Value Management - Reconciling Government and Commercial Practices", Program Manager, 26: 58-69, 1997
44. Abba, Wayne, "The A-12 Program Management Summary", From presentation at NSIA/MSS Meeting, 1991
45. Abba, Wayne, "Cost/Schedule Control Systems Criteria White Paper", Program Manager, 15: 45-47, 1986
46. Abudayyeh, Osama Y. and Rasdorf, William J., "Cost and Schedule Control Integration : Issue and Needs", Journal of Construction Engineering & Management, ACSE, 117(3), pp.486-502, 1991
47. Abudayyeh, O. Y., and Rasdorf, W. J, "Integrated Cost and Schedule Control Automation." *Constr. in 21st Century*, ASCE, pp.679-686, 1991
48. Abudayyeh, Osama Y. and Nicholas, Matthew J., "Hybrid Expect System for Construction Planning and Scheduling" Journal of Contruction Engineering and Management, ASCE, 116(2), pp.221-238, 1990
49. Amaral, Juan H., "Effect of Feedback on Cost Performance Report Utility", Masters Thesis, Air Force Institute of Technology(AU), Wright - Patterson, AFB, Ohio, 1989
50. Ahuja, Hira N. and Dozzi, S. M. Abourizk, "Project Management"(2nd), JOHN WILEY & SONS, INC. 1994
51. Barry Render, Ralph M. stair, "Quantitative Analysis for Management" Prentice Hall, 2000
52. Biery, Frederick P, "Cost Growth and the Use of Competitive Acquisition Strategies", Paper Presented at the National Estimating

Society Conference, 1985

53. Brodkorb, Richard, Decision Planning Corporation, 'The Cost of the Criteria", A Report Presented to Air Force Institute of Technology Course 362, 1992

54. Carl S. Chatfield, "Micro Project 2000 Step by Step", Microsoft Press, 2000

55. Carr, R. I, "Integration of Cost and Schedule Control." *Constr. in 21st Century*, ASCE, pp.687-692, 1991

56. Carr. R. I, "Cost, Schedule, and Time Variances and Integration." *J. Constr. Engrg. and Mgmt.*, 119(2), pp.245-265, 1993

57. Christensen, David S, "Project Advocacy and the Estimate At Completion Problem", Journal of Cost Analysis, pp.35-60, 1996

58. Christensen, David S, "EAC Evaluation Methods : Do They Still Work?", Acquisition Review Quarterly 9 : 105-116, 2002

59. Christensen, David S, "Cost Overrun Optimism : Fact or Fiction?", Acquisition Review Quarterly, 1994

60. 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

61. Christensen, David S, "Determining an Accurate Estimate at Completion", National Contract Management Journal 25:17-25, 1993

62. Christensen, David S, "The Costs and Benefits of the Earned Value Management Process", Acquisition Review Quartely, 1998

63. CII, "Work Packaging For Project Control", Construction Industry Institute(CII), The University of Texas at Austin, 1997

64. 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

65. DAO, "Interpretive Key To The Australian C/SCSC", 1994
66. Department of Defense, "Work Breakdown Structures for Defense Material Items. Military Standard 881B", Washington : Government Printing Office, 1993
67. Department of Defense (DOD) and National Security Industrial Association (NSIA), "Cost/Schedule Management Process", Report for Program Management, 1994
68. Deng, Michale Z. M. and Y. F. Hung, "Integrated Cost and Schedule Control: A Hong Kong Perspective", Project Management journal, 1998
69. Defense Contract Management Command (DCMC), "Earned Value Implementation Guide", 1996
70. Dua R. M, "Project Cost Management Through Earned Value Performance Management(EVPM)", *Australian Institute of Project Management National conference*, 1997
71. EIA Engineering Dep, "Earned Value Management Systems (ANSI/EIA-748)", EIA(Electronic Industries Alliance), 1998
72. Elaine Marmel, "Microsoft Project 2000 Bible", Hungry Minds, 2001
73. 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
74. Fleming, Quentin W, "Cost/Schedule Control Systems Criteria - A Management Guide to C/SCSC. (Revised Edition)", Chicago Probus Press Inc, 1992.
75. Fleming, Quentin W. and Joel M. Koppelman, "Earned Value Project Management", Upper Derby PA : Project Management

Institute, 1996

76. Fleming, Quentin W. and Joel M. Koppelman, C&SM/C.2-Linking Contractor Payments to Contractor Performance, 39th Annual Meeting, 1995
77. Hribar, J. P. and Asbury, G. E, "Elements of Cost and Schedule Management.", *J. Mgmt. in Engrg.* ASCE, pp.138-148, 1985
78. 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
79. Fleming, Quentin W. and Koppelman, Joel M, "Earned Value Project Management", Project Management Institute, 2000
80. Forrest D. Clark, A. B Lorenzoni, "Applied Cost Engineering, Third Edition, Marcel Dekker, Inc
81. Goldberg, Matthew S. and Webber, Charles A, "Evaluation of Risk Analysis and Cost Management Model", Institute of Defense Analysis, 1997
82. Goodpasture, John, "Everthing 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
83. General Accounting Office (GAO), National Security and International Affairs Division, "Efforts to Reduce the Cost to Manage and Oversee DOD Contracts", 1996
84. Graham K. Rand, "Critical Chain : The Theory of Constraints Applied to Project Management", International Journal of Project Management pp.173-177, 2000
85. Grary C. Humphreys, " Assessing the Impact of Front-Loading on the

CPI and EAC" , The Measurable News - 2001.09

86. Hatfield, Michael A, "The Case for Earned Value", PMNET work : 25-27, 1996

87. Hendrickson C. T. and Au T, *"Project management for construction : Fundamental concepts for owners, engineers, architects, and builders."* Prentice Hall, Englewood Cliffs N.J, 1993

88. John M. Nicholas, "Project Management for Business and Technology", Prentice Hall, 2000

89. Kathy Schewalbe, "Information Technology Project Management", Course, 2000

90. Kenneth N. Berk, Patrick M. Koppelman, "Data Analysis", Duxbury, 2000

91. Lipke, Walter H. and Mike Jennings, "Software Project Planning, Statistics, and Earned Value", CrossTalk-The Journal of Defense Software Engineering, 13:10-14, 2000

92. Mueller, F. W, *Integrated cost and schedule control for construction projects.* Van Nostrand Reinhold, 1986

93. Nevins, Daniel P, Ronald J. Zabilski, and Bridget E. O'Reilly., "Integrated Network Planning and Scheduling with 3D Construction Models." AACE Transactions C.10, 1993

94. Navon R, "Cost-Schedule Integration for Cash-Flow forecasting." *J. Comput. in Civ. Engrg.(2)*, ASCE, pp.1536-1539, 1994

95. Pakiz, John, "Summary Level Variance Analysis", White Paper, National Security Industrial Association (NSIA), Washington DC, 1993.

96. PMBOK, "A Guide to the Project Management Body of Knowledge",

Project Management Institute, 2000

97. Primavera Korea, "P3 Manual", Primavera, 2000

98. Postula, Frank D, "WBS Criteria for Effective Project Control." AACE, Transactions, I.6, 1991

99. Randal B. Lorance P.E, Robert V. Wendling, "Basic Techniques for Analyzing and Presentation of Cost Risk Analysis", 1999

100. Rasdorf, W. J, and Abudayyeh, O. Y, "Cost-and Schedule-Control Integration : Issues and Needs." *J. Constr. Engrg. and Mgmt.*, ASCE, 117(3), pp.486-502, 1991

101, R. Max Wideman, "Project and Program risk Management", PMI, 2000

102. Short, J. W, "Using Schedule Variance as the Only Measure of Schedule Performance", *Cost Engineering*, AACE, 35(10), pp.35-40, 1993

103. Teicholz, P. M, "Current needs for cost control systems." *Project controls : Needs and solutions (Proc. Speciality Conf.)*, C. W. Ibbs, D. B. Ashley, eds, ASCE, 47-57, 1987

104. Wake, Steve, "Earned Value Booklet" 3rd Edition. Palmer Green, London : Steve Wake Projects, Limited, 1998

105. Webster, Anthony, "C/SCSC Lessons Learned : Theoretical Framework", Program Manger 17:13-22, 1998

106. William R. Duncan, "Estimate Variance : Charting the Rate of Change in Estimate At Completion." In Control 1:55-64, 1987

107. http://www.acq.osd.mil/pm/, Earned Value Management Website

108. http://www.dmo.defence.gov.au/esd/evm/index.cfm, Earned Value Web Site for Australia

109. http://www.suu.edu/faculty/christensend/ev-bib.html. Comprehensive Bibliography of EV Articles.

110. http://www.sceaonline.net/

Interdisciplinary Program of Construction
Engineering and Management Graduate School An Dong Geun
Directed by Professor Kim Soo Yong

It is imperative to introduce trustworthy management system in construction business. It is rather urgent than necessary to introduce scientific and systematic construction management system especially when we are having difficultiesin domestic construction industry such as low expense efficiency and low profitability due to high expense/low efficiency structure, low clarity in the process of producing construction, obscurity in expense investment structure, shortage of knowledge and ability in construction business management, and inadequacy of obtaining knowledge.

Hereupon, the government announced in 1999 "a comprehensive plan for efficiency of public construction projects (99.03 The Ministry of Construction and Transportation)" to rethink the budget reduction of public construction projects and its efficiency. To carry out this plan, the government legislated the application of Ender Value Management System (EVMS), after revising an Enforcement Ordinance of The Administration Lawof construction techniques, to enforce the compulsory introduction of management system to some of the construction projects.

However, in case of ongoing domestic construction projects the management of expense, program, and quality, which are the standards of measuring the outcome by EVMS, is result oriented. For the introduction of EVMS and its smooth management there are a lot of accumulated problems such as increase of expense and program and the difficulty in early detection of risk and devise of a counter planin the process of carrying out construction projects since expense and program are managed individually due to the different purposes in management.

Therefore, this study tries to promote the introduction and management of a more systematic and scientific construction management system to improve the efficiency and the productivity of domestic construction business by analyzing problems throughout all stages of construction management system from the early planning stage of EVMS to the analysis and application stage and presenting a better management plan.

Key word : EVMS, BCWP, BCWS, ACWP, MRP, PMB, PV, AC, EV, CV, SV, CPI, SPI, TCPI, CAP, PMB, BAC, EAC, VAC, WBS, CBS, OBS, Work Package, Work Remaining, Nonparametric, One-Tailed Test, Null Hypothesis, Alternative Hypothesis, Work Category

감 사 의 글

먼저 본 논문이 완성되기까지 부족한 저에게 아낌없는 지도와 가르침을 주신 김수용 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

그리고 저의 논문심사를 위하여 처음부터 끝까지 세심하게 검토하여 주시고 지도하여주신 이영대 교수님, 이종출 교수님, 바쁘신 가운데 오셔서 논문심사와 따뜻한 격려를 하여주신 조훈희 교수님, 김대영 교수님, 이수용 교수님, 최명식 교수님께 진심으로 감사를 드리오며, 김명식 교수님, 정두회 교수님과 여러 토목공학과 교수님들께도 깊은 감사를 드립니다.

또한 박사과정을 마칠 수 있도록 많은 배려와 격려를 하여주신 (주)포스코건설 신영길 전무님, 김현배 소장님, 건설기술연구팀 동료 및 형산 큰다리 현장 동료 분들께 감사를 드립니다.

제가 박사과정에 다닐 수 있도록 동기를 부여하여주시고 지도를 하여 주신 김성환 단장님과, 박혁 국장님, 문휘영 사장님, 황효수 사장님, 그리고 모든 원우 분들께 감사를 드리오며, 여러 선후배님, 동료 및 친지, 나의 많은 친구들께도 감사를 드립니다.

본 논문의 완성을 위하여 자료정리 및 편집 등에 많은 도움을 준 CM 연구실의 박영민 연구원에게 감사를 드리며, 이양호, 양진국, 박은진 연구원 및 폴란드 유학생 스타식 에게도 감사를 드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 훌륭한 사람이 되라 당부하시고 타계하신 선친과 아낌없는 사랑으로 키워주신 어머님의 은혜에 머리 숙여 깊은 감사를 드리오며, 장인어른과, 장모님, 아우 정호 및 여러 형제들에게도 감사를 드리오며, 항상 인내와 이해로 내조하며 어려울 때 격려를 아끼지 않은 사랑하는 아내 명숙, 아들 현태와 함께 이 결실의 기쁨을 함께하고자 합니다.