공학석사 학위논문

EVMS를 도입한 공정상의 성과지수 분석

2003년 2월

부경대학교 대학원

토 목 공 학 과

김 영

공학석사 학위논문

EVMS를 도입한 공정상의 성과지수 분석

지도교수 이 영 대

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2003년 2월

부경대학교 대학원

토 목 공 학 과

김 영

김 영의 공학석사 학위논문으로 인준함

2002년 12월 26일

주 심 공학박사 이 종 출 (인)

위 원 공학박사 정 두 회 (인)

위 원 농공학박사 이 영 대 (인)

목 차

1. 서론 1

1.1 연구의 배경 및 목적 1

1.2 연구의 범위 및 절차 1

1.3 연구현황 2

2. 예비적 고찰 4

2.1 EVMS의 개념 및 수행절차 4
2.1.1 EVMS 개념정의 4
2.1.2 EVMS 구성요소 4
2.1.3 EVMS의 수행절차 5

2.2 통계적 데이터분석 9
2.2.1 회귀분석(Regression Analysis) 9
2.2.2 시계열분석(Time Series Analysis) 10
2.2.3 통계적 프로세스 관리분석(Statistic Process Control Analysis) 14

2.3 성과지수의 산정방법 16

2.4 통계적 데이터 분석방법 18
2.4.1 최소제곱법 18
2.4.2 이동평균법 20
2.4.3 지수평활법 21
2.4.4 $\bar{X}$ 관리도 23
2.4.5 파레토 차트 24

3. 사례분석 25

3.1 프로젝트 개요 25

3.2 월별 CPI, SPI의 산정 26

4. 고찰 28

4.1 성과지수의 도식화 28
4.1.1 Box Plot을 이용한 CPI, SPI의 도식화 28
4.1.2 Line Plot을 이용한 CPI, SPI의 도식화 29

4.2 통계적 프로세스 관리(SPC)의 적용 31
4.2.1 $\overline{X}$-Chart의 도식화 31
4.2.2 파레토 차트의 도식화 32

4.3 회귀분석을 통한 성과지수 예측 35
4.3.1 로그식 회귀분석을 이용한 도식화 35
4.3.2 지수식 회귀분석을 이용한 도식화 36

4.4 시계열 분석을 통한 성과지수 예측 38
4.4.1 지수평할법을 이용한 도식화 38
4.4.2 지수평할법(Seasonality적용)을 이용한 도식화 39
4.4.3 계절지수(Seasonality Indices)의 도식화 41

5. 결론 44

참고문헌 45

<표차례>

표 2.1.1 EVMS에 사용되는 주요용어 5
표 2.3.1 상황보고날짜에서의 성과분석 17
표 3.1.1 월별 성과분석 도표(2000년 1월) 25
표 3.1.2 월별 성과분석 도표(2000년 2월) 25
표 3.2.1 월별 CPI의 산정 26
표 3.2.2 월별 SPI의 산정 27
표 4.4.1 지수평활법을 이용한 월별 CPI의 예측(계절요인) 40
표 4.4.2 지수평활법을 이용한 월별 SPI의 예측(계절요인) 41
표 4.4.3 성과지수별 월별 계절지수 42

<그림차례>

그림 1.2.1 연구흐름도 2
그림 2.1.1 EVMS 구성요소 4
그림 2.1.2 EVMS의 수행절차 6
그림 2.1.3 작업분류체계(Work Breakdown Structure) 7
그림 2.1.4 액티비티에 할당된 자원 8
그림 2.2.1 종속변수와 독립변수간의 의존관계 9
그림 2.2.2 회귀모형의 산포도 10
그림 2.2.3 상승하는 추세변동 11
그림 2.2.4 관리도 14
그림 2.2.5 관리도의 검정력 15
그림 2.3.1 기본계획단계의 바차트 16
그림 2.3.2 진행단계의 바차트 16
그림 2.3.3 누적 일정-비용곡선(S-Curve) 17
그림 2.3.4 누적CPI · 누적SPI 18
그림 2.4.1 잔차(residuals) 19
그림 2.4.2 N=3인 경우의 이동평균 21

그림 2.4.3 N=12인 경우의 이동평균 21
그림 2.4.4 w=0.05인 경우의 지수평활 22
그림 2.4.5 w=0.30인 경우의 지수평활 23
그림 4.1.1 월별 CPI의 BoxPlot 28
그림 4.1.2 월별 SPI의 BoxPlot 28
그림 4.1.3 월별 CPI의 LinePlot 29
그림 4.1.4 월별 SPI의 LinePlot 30
그림 4.2.1 월별 CPI의 $\overline{X}$-Chart 31
그림 4.2.2 월별 SPI의 $\overline{X}$-Chart 32
그림 4.2.3 월별 CPI의 파레도차트 33
그림 4.2.4 월별 SPI의 파레토차트 33
그림 4.2.5 업무별 CPI의 파레토차트 34
그림 4.2.6 업무별 SPI의 파레토차트 34
그림 4.3.1 월별 CPI의 로그식 회귀도표 35
그림 4.3.2 월별 SPI의 로그식 회귀도표 36
그림 4.3.3 최소제곱법을 이용한 월별 CPI의 회귀도표 37
그림 4.3.4 최소제곱법을 이용한 월별 SPI의 회귀도표 37
그림 4.4.1 지수평활법 이용한 월별 CPI의 예측 38
그림 4.4.2 지수평활법 이용한 월별 SPI의 예측 39
그림 4.4.3 지수평활법 이용한 월별 CPI의 예측(계절요인) 40
그림 4.4.4 지수평활법 이용한 월별 SPI의 예측(계절요인) 41
그림 4.4.5 월별 CPI의 계절지수 42
그림 4.4.6 월별 SPI의 계절지수 43

Performance Index Analysis of Schedule Introducing EVMS(Earned Value Management System)

Kim, Young

Department of Civil Engineering, Graduate School

Pukyong National University

Abstract

It is lately issued studies on EVMS(Earned Value Management System) throughout construction industry, which is management system for integrating cost and schedule effectively.

It is important subject that must coincide with standards of advanced construction technology for having the competition ability of domestic construction industry on the world.

But the system on introducing EVMS is not prepared in domestic construction industry and it is a circumstance that domestic project stakeholder don't recognize importance of introducing EVMS.

So identifying importance and circumstance of introducing EVMS, CPI(Cost Performance Index) and SPI(Schedule Performance Index), which are critical components on schedule introducing EVMS, calculate and it intends to analyze the trend and problem of cost and time throughout project management, applying various statistical data analysis method.

The conclusions from this study are summaried as follow:

With the result of plotting $\overline{X}$-chart, it appeared to be beyond control limit at beginning point and end point and the range of control limit of SPI was more large than that of CPI.

With the result of applying Regression Analysis, Performance Indices inclined to be risen above gradually and be closed the optimal value.

With the result of applying Time-Series Analysis, it was almost identical to the seasonal pattern of Performance Indices on time-series.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설산업 전반에 일정과 비용을 통합한 건설공사의 효율화가 중요한 문제로 부상되고 있으며, 국제화 시대의 국내 건설산업의 경쟁력 확보를 위해서도 선진건설기술의 기준에 부합해야 하는 과제를 안고 있다. 또한 정부에서는 "공공건설사업 효율화종합대책"의 일환으로 낙후된 국내건설관리기술을 개선·선진화하여, 투명하고 합리적인 공사관리체계가 이루어 질 수 있도록 국내건설산업에 일정·비용을 통합 관리하는 EVMS을 도입하고 있으며, 국내 건설산업의 해외진출을 위해서도 EVMS(Earned Value Management System) 도입은 중요한 과제가 되고 있다.

그러나 국내 건설산업에 EVMS를 도입하는데 있어서 제도적, 환경적인 뒷받침이 아직 미비한 상태에 있으며, EVMS의 도입에 대한 건설관련 이해당사자들의 의식이 아직 정립이 되어 있지 않은 상황이다.

본 논문에서는 EVMS를 도입한 공정상의 주요지표인 성과지수(SPI: Schedule Performance Index, CPI: Cost Performance Index)를 산정하여, 여러 통계적 분석방법을 적용해서 프로젝트 관리상에 일정과 비용의 추세(Trend) 및 문제원인을 분석하는 방안을 연구하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 절차

건설산업은 어떤 다른 산업보다도 예측하기 어려운 위험요소(risk factor)가 많이 발생하는 업종 중에 하나이며, 초기계획에 대비하여 많은 변화가 발생할 소지가 크다. 이러한 변화는 EVMS를 도입한 공정에서 주요 성과지수들의 변동을 초래하게되고, 이러한 지표의 효과적인 관리가 무엇보다도 중요한 선결과제이다.

그래서 주요 성과지표들을 정량화하여 효과적으로 분석 및 관리한다면 앞으로 발생할 수 있는 리스크를 예측 및 예방할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 EVMS를 도입한 공정에 대해서 일정·비용상의 주요성과지수인 CPI, SPI를 산정하고, 정량화를 위한 여러 통계적 데이터 분석을 하는 것을 연구범위로 한정하였다.

본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행한다.

예비적 고찰로써

(1) 문헌조사를 통한 EVMS의 개념 및 절차(process)고찰

(2) EVMS의 주요성과지수를 정량화할 수 있는 통계적 데이터 분석의 개념 및 방법 고찰

(3) 통계적 데이터 분석방법의 선정

사례분석단계에서는
(4) EVMS를 도입한 건설프로젝트의 월별 CPI, SPI를 산정
(5) CPI, SPI의 통계적 데이터 분석
본 연구의 절차을 도식화하면 그림 1.2.1와 같다.

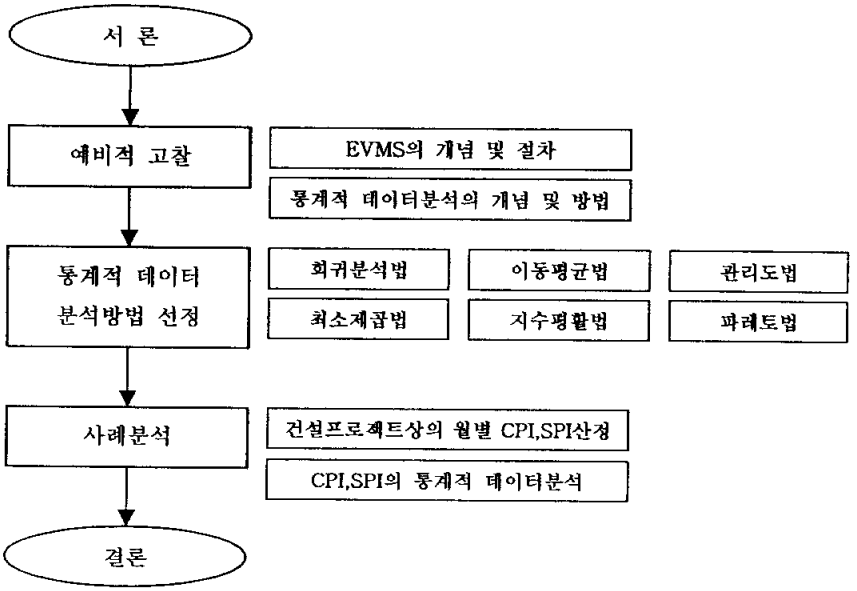


그림 1.2.1 연구흐름도

1.3 연구현황

국내의 경우, EVMS에 관한 논문이 최근 들어와서 활발하게 늘어나고 있는 추세이며, EVMS를 도입한 공정에 대한 경험이 많이 부족하여, 기술적인 분석이나 사례분석에 대한 관한 연구는 아직 미흡하다. 최윤기(1999)는 공사실적을 정확하게 파악하기 위해 일정과 비용을 통합한 건설공사진도율 측정기준 및 그에 따른 진도율을 산정할 수 있도록 건설공사진도율 산정시스템개발에 대한 연구를 수행하였고, 김양택(2000)은 Work Packaging Model의 개선을 통하여 국내 건설현장에 적합한 공정-공사비통합모델을 구축하는 방안에 관한 연구를 수행하였다. 또한 김선규와 김재준(2000)은 EVMS의 최종공사비 예측(EAC)모델이 국내건설환경에 적합한지에 대한 여부와 신뢰정도를 검증하고자 다양한 성과지수(performance index)를 사용하여 국내 건설현장에 대한 비교성과분석을 시도하였다.

외국의 경우, EVMS에 관한 많은 논문 및 사례연구가 진행되었으며, 1960년대 이

후 꾸준히 증가한 것을 보여주고 있다. Lipke, Walter H (2000)는 통계적 프로세스 관리(SPC : Statistic Process Control)를 EVMS에 도입함으로써 효과적인 성과관리방안에 대하여 연구하였고, Lipke, Walter H and Mike Jennings (2000)는 EVMS의 주요지표들에 대한 통계적 분석방안을 연구하였다. 나머지 EVMS에 관한 주요내용은 비용·일정 통합모델의 구축, EVMS의 주요 성과지수분석 및 예측, EVMS를 도입한 프로젝트의 계획 및 관리, 리스크관리 및 분석, 현금흐름분석 및 통계적 프로세스관리 분석, 사례분석 등이다.

2. 예비적 고찰

2.1 EVMS의 개념 및 수행절차

2.1.1 EVMS 개념정의

미국 예산처는 EVMS를 "프로젝트 사업비용, 일정, 그리고 수행 목표의 기준 설정과 이에 대비한 실제진도 측정을 위한 성과 위주의 관리체계"라 정의하고 있으며, 플레밍과 카플만은 EVMS를 "상세히 작성된 작업계획에 실제작업을 계속적으로 측정하는 것으로서, 이를 통하여 프로젝트의 최종사업비용과 일정을 예측할 수 있도록 하는 관리방법"이라고 정의한다. 이러한 정의를 통해 알 수 있듯이 엄격한 공사범위관리(scope management)를 통해 얻어진 기본계획을 베이스라인(baseline)으로 하여, 실제 진행상에 일정과 비용을 통합관리하는 방법이며, 이를 통해서 문제의 분석 및 만회대책의 수립, 그리고 향후 예측을 가능하게 하는 방법이다.

2.1.2 EVMS 구성요소

전반적으로 EVMS에 대해서 이해하기 위해서는 EVMS의 구성요소에 대해서 명확히 인지하여야 하며, 그림 2.1.1은 각각의 구성요소를 도식화한 것이며, 표 2.1.1은 각각의 구성요소의 용어이다.

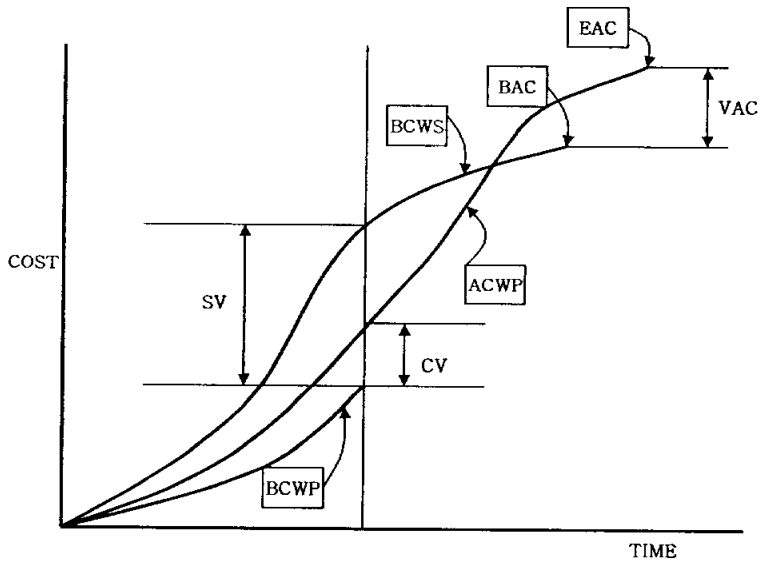


그림 2.1.1 EVMS 구성요소

표 2.1.1 EVMS에 사용되는 주요용어

구분	용어	약어
계획공사비	Budget Cost for Work Scheduled	BCWS
실적진도비용	Budget Cost for Work Performed	BCWP
실투입비용	Actual Cost of Work Performed	ACWP
공정차이	Schedule Variance	SV
비용차이	Cost Variance	CV
최종예상공사비	Estimate at Completion	EAC
목표(계약)공사비	Budget at Completion	BAC
최종공사비편차	Variance at Completion	VAC

계획공사비(BCWS)는 프로젝트 업무를 수행하기 위해서 계획된 각각의 액티비티에 대한 예산을 나타내며, 전통적인 S곡선상의 계획공사비를 말한다.

실투입비용(ACWP)는 프로젝트 업무상에 실제 진행된 각각의 액티비티(activity)에 부여된 실제비용을 나타낸다.

실적진도비용(BCWP)는 계획공사비(BCWS)와 같이 프로젝트 업무를 수행하기 위해서 계획된 예산이지만, 실적진도비용과 계획공사비의 명백한 차이점은, 전자는 실제 수행된 액티비티에 대한 예산을 말하며, 후자는 수행하기로 예상된 액티비티에 대한 예산을 말한다.

이 세가지가 EVMS의 주요구성요소이며, 프로젝트 상에 임의의 적정시점에서 계획된 작업량, 실제 수행된 작업량 및 실제 수행된 작업량에 투입된 비용을 측정함으로써 프로젝트의 진도와 성과를 분석할 수 있다.

2.1.3 EVMS의 수행절차

EVMS의 수행절차는 크게 EVMS의 구축을 위한 5단계와 실제 진행관리을 위한 4단계로 나눌 수 있으며, 이 단계는 모든 프로젝트에서 같지는 않지만, 일반적인 절차로 구성하면 다음과 같다.

EVMS의 설정을 위한 업무프로세스는

1. 프로젝트를 관리 가능한 영역으로 나누기 위해서 작업분류체계(Work Breakdown Structure)를 구축한다.
2. 전체 프로젝트에 대한 액티비티(activity)를 식별·정의한다.
3. 각각의 액티비티에 소요될 비용(자재비, 인건비, 시설비 등)을 정의·할당한다.
4. 프로젝트 전반에 대해서 액티비티의 공정(schedule)을 구축한다.
5. 기본계획이 완료되면, 기준선(baseline)을 설정하고, 각각의 기본정보 데이터를 분

석, 도식화, 도표화한다.

실제 진행단계에서는

1. 업무진행보고에 따른 공정을 업데이트 한다.
2. 액티비티상에 실제 소요비용을 입력한다.
3. 성과분석을 수행하여, 보고서와 차트를 출력한다.
4. 성과분석의 수행을 통해 나타난 데이터를 분석한다.

EVMS의 수행절차를 도식화하면 그림 2.1.2와 같다.

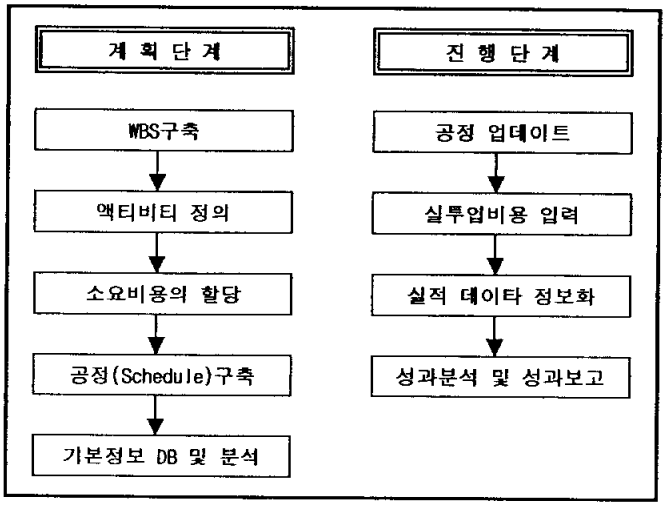


그림 2.1.2 EVMS의 수행절차

각각의 단계에 대한 세부사항에 대해서 기술하면

1. WBS의 구축 : 작업분류체계(Work Breakdown Structure)는 프로젝트의 세부요소들을 체계적으로 조직하고, 정의하고, 표현하기 위해서 최종목적물이나 요소작업위주로 표기된 가계계보(family tree)와 같으며, 프로젝트상에 원가 및 공정을 설정하여 관리할 수 있는 단위로 분할한다. 또한 작업분류체계와 기능적 조직분류체계의 통합은 프로젝트관리자가 작업분류체계상의 각각의 프로젝트 관리요소에 조직분류체계상의 책임을 맡을 담당자를 임명함으로써 이루어진다. 그림 2.1.3는 WBS의 형태를 나타내고 있다.

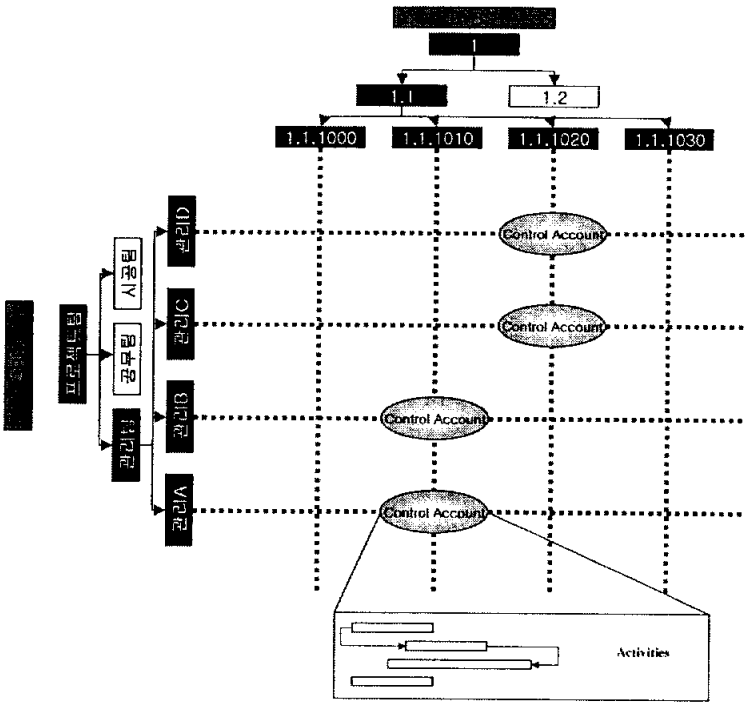


그림 2.1.3 작업분류체계(Work Breakdown Structure)

2. 액티비티의 정의 : 이 단계는 프로젝트 전반에 수행될 액티비티를 정의하는 것으로, 앞서 구축된 WBS는 액티비티 정의를 위한 기본골격을 제공하며, 각각의 액티비티는 WBS상의 구성요소에 모두 할당되어야 한다. 이 단계의 이행으로 전형적인 CPM 네트워크상에 프로젝트 공정(schedule)이 형성한다.

3. 소요비용의 할당 : 이 단계는 각각의 액티비티에 소요될 비용을 정의하고, 할당하는 단계이며, 각각의 액티비티는 프로젝트 내에 한정된 노력을 나타내기 때문에 소요되는 공기와 자원의 소비가 요구된다. 그림 2.1.4은 액티비티의 실행동안에 소요되는 비용을 나타내는 곡선이다. 어떤 시점에서 자원을 얼마만큼 할당할 것인가는 중요한 문제이며, 적절한 자원관리는 프로젝트 전체에 많은 영향을 미치며, 사전에 효과적인 자원계획이 수립되고, 정의되어야 한다.

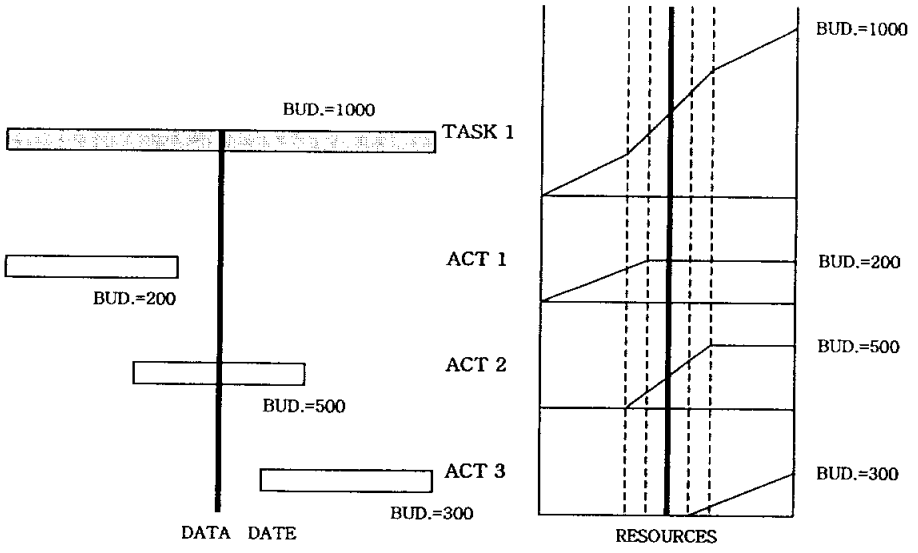


그림 2.1.4 액티비티에 할당된 자원

4. 액티비티의 공정(schedule)구축 : 각각의 액티비티를 구성하고 자원을 할당하여 프로젝트의 전체공기 전반에 공정을 구축하는 과정으로 프로젝트 계획 또는 기준선(baseline)이라고 하며, 전통적인 S-Curve(또는 BCWS Curve)를 형성한다.

5. 공정의 도표화, 도식화 및 분석 : 공정의 구축에 따른 프로젝트 기본정보를 도표화, 도식화하여, 정보를 분석하는 과정으로, 자원의 할당 및 일정계획이 적절히 잘 계획되어 있는지 검토하는 단계이다. 또한 프로젝트 전반의 재무계획이 올바르게 수행되었는지 현금흐름(cash flow)을 검토하는 단계이다. 그리고 자원이 프로젝트 전반에 걸쳐서 최대한으로 활용하고 있는지도 검토해야 한다.

실제 진행단계에서의 업무프로세스를 기술하면,

1. 공정(schedule)의 업데이트 : 실제 진행상의 첫단계는 상황보고날짜(DD: Data Date)를 기준으로한 실제 진행일정을 업데이트 하는 단계이다.

2. 실제비용의 입력 : 각각의 액티비티별 소요된 실제비용을 입력하는 단계로써, 특히 실제소요비용의 입력시에 기업의 재무관리시스템과 프로젝트의 재무관리시스템사이의 적절한 통합이 중요하며, 프로젝트상의 어떤 종류의 비용을 할당할 것인지를 결정하는 것 또한 중요하다.

3. 성과분석을 통한 보고서 및 차트출력 : 상황보고 날짜기준으로 진행상의 EVMS의

주요 구성요소를 산정하여, 실제 진행상의 각각의 정보를 도식화 및 문서화하는 단계이다.

4. 데이터 분석 및 성과보고 : 성과분석을 통해 산정된 EVMS의 주요 구성요소를 분석하고, 분석한 결과를 보고하는 단계이다.

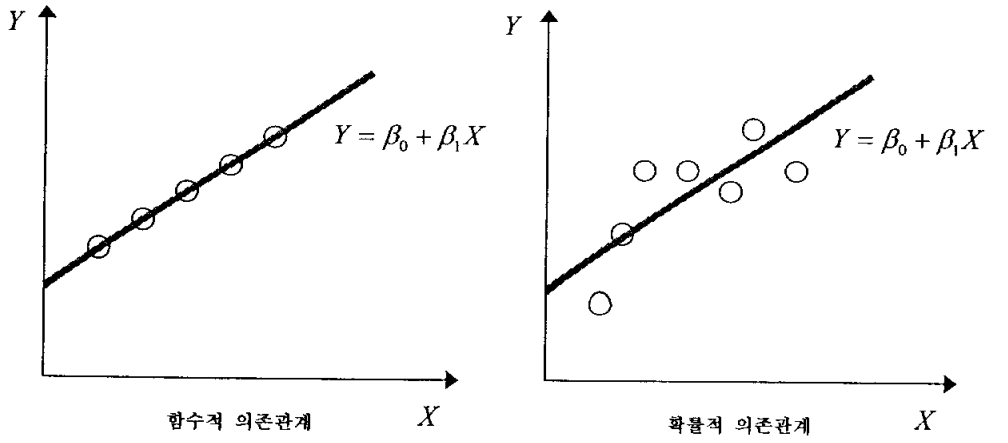
2.2 통계적 데이터분석

2.2.1 회귀분석(Regression Analysis)

회귀분석은 변수들간의 관계와 예측에 관한 가장 일반적 통계분석방법으로, 회귀분석의 목적은 하나 혹은 그 이상의 확률변수가 다른 확률변수에 영향을 주는지 여부를 판단하고 영향을 준다면 얼마만큼 영향을 주는지 연구하는 것이다.

서로 관계를 갖는 변수들 중에서 관심의 대상이 되며, 다른 변수에 영향을 받는 변수를 종속변수(dependent variable)라고 하며, 종속변수에 영향을 주는 변수를 독립변수(independent variable)라고 한다.

그리고, 종속변수와 독립변수들간의 관계는 함수적 의존관계(functional dependence)와 확률적 의존관계(stochastic dependence)로 나누어 볼 수 있는데, 함수적 의존관계란 독립변수의 값에 대한 종속변수의 값이 오직 하나만 결정되는 관계이며, 확률적 의존관계란 독립변수의 값에 대한 종속변수의 값이 오직 하나만 결정되는 관계가 아니라 독립변수의 값이 종속변수의 값의 확률분포와 관계하는 것이다. 그림 2.2.1은 종속변수와 독립변수간의 의존관계를 나타낸 것이다.

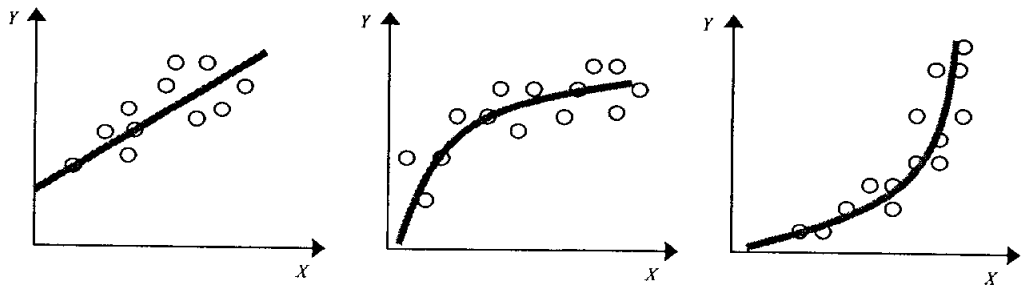


※ β_0:절편계수, β_1:회귀계수

그림 2.2.1 종속변수와 독립변수간의 의존관계

두 변수 X와 Y의 관계를 나타내주는 함수형태가 회귀모형(regression model)이다. 두 변수간의 관계가 비례적인 선형관계(linear relation)로 나타날 때 이를 선형모형(linear model)이라고 하고 두 변수의 관계가 비선형(nonlinear)관계로 나타날 때 비선형모형(nonlinear model)이라고 한다. 이 비선형모형은 변수에 대수(log) 및 지수를 취하는 방법 등에 의한 변수의 변형(transformation)에 의해 대부분 선형모형으로 전환될 수 있다.

여기에 선형과 비선형을 구별하는 기준은 모수 혹은 변수가 될 수 있다. 모수를 기준으로 $f(X)=\beta_0+\beta_1X^2$ 은 선형이 되며, $f(X)=\beta_0+\beta_1^2X$ 은 비선형이 된다. 반면에 변수를 기준으로 하면 $f(X)=\beta_0+\beta_1X^2$ 은 비선형이 되며 $f(X)=\beta_0+\beta_1^2X$ 은 선형이 된다. 일반적으로 선형에 대한 특별한 정의가 없으면 모수를 기준으로 선형과 비선형을 구분하는데, 이는 모수에 대해 선형일 때 모수에 대한 추정과 해석이 용이하기 때문이다. 두 변수의 관계가 선형인지 비선형인지는 두 변수의 확률적 관계를 그래프로 나타내 주는 산포도를 통해 쉽게 알 수 있다. 그림 2.2.2는 회귀모형의 산포도를 나타낸 것이다.



(a) 선형모형 (b) 비선형모형

그림 2.2.2 회귀모형의 산포도

2.2.2 시계열분석(Time Series Analysis)

시계열분석에서 다루고자 하는 자료들은 국민총생산고, 물가지수, 강우량, 상품의 판매량 등과 같이 연도별, 계절별, 월별, 일별 또는 보다 작은 시간대로서 시, 분, 초별로 시간의 흐름에 따라 순서대로 관측되므로 시간의 영향을 받게 된다. 이와 같이 시간에 따라 관측된 자료를 시계열(time series)자료라고 한다.

시계열들은 생성되는 특성에 따라 연속적으로 생성되는 연속시계열(continuous time series)과 이산적 시점에서 생성되는 이산시계열(discrete time series)의 두 경우로 나누어 생각할 수 있다. 많은 시계열들이 실제로는 연속적으로 생성되고 있으나, 일정한 시간간격을 두고 관측되므로 이산시계열자료의 형태를 지니고 있는 경우가 많다.

시계열자료의 분석에서는 관측시점과 관측시점들 사이의 간격인 시차(time

lag)가 중요한 역할을 하므로 일반적으로 시간 t를 이용하여 다음과 같이 표현한다.

$\{Z_t : t = 1,2,\cdots\}$ 또는 $Z_1, Z_2, \cdots$

시계열자료를 분석하는 목적은 크게 두가지로 나눌 수 있는데, 그 첫째는 과거 시계열자료의 패턴이 미래에도 지속적으로 유지된다는 가정하에서, 현재까지 수집된 자료들을 분석하여 미래에 대한 예측(forecast)을 하는 것이다. 둘째로는 시계열자료가 생성된 시스템 또는 확률과정을 모형화하여 시스템 또는 확률과정을 이해하고 제어(control)할 수 있도록 하는 것이다. 예를 들어, 원료가 투입되어 제품이 생산되는 시스템을 모형화 할 수 있으면 제품을 목표값(target value)을 달성하기 위해 원료를 어떻게 입력시키는 것이 최적인지를 알아낼 수 있을 것이다.

시계열 분석방법은 시계열 변동요인 추세변동, 계절변동, 순환변동, 그리고 불규칙 변동 등을 분해할 수 있다는 가정하에서 이들을 추정, 추출함으로써 시계열자료를 분석하는 방법이다.

(1) 추세변동

추세변동이란 시계열이 시간이 흐름에 따라 장기적으로 상승하거나 하강하는 대략적 경향이다. 그림 2.2.3은 시계열이 전체적으로 상승하는 추세변동을 나타내고 있는 예이다.

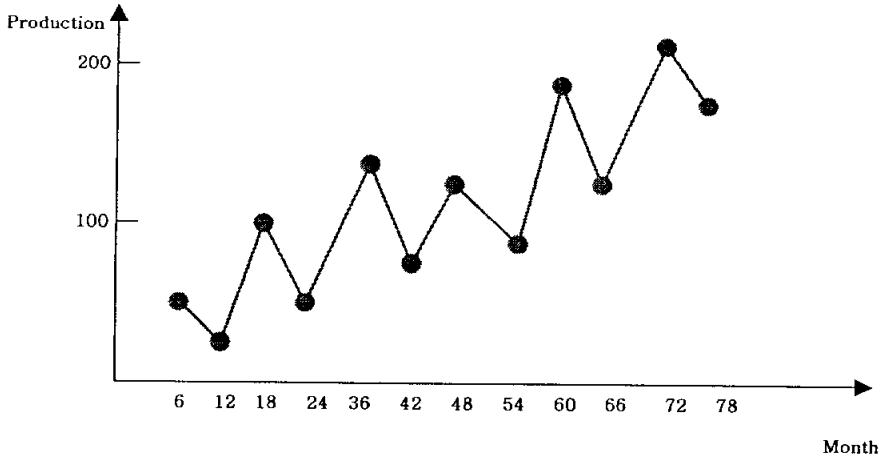


그림 2.2.3 상승하는 추세변동

추세변동을 추정하기 위해서 식(2.2.1)의 가법모형에서 계절변동 및 순환변동이 없다고 하면 다음과 같다.

$$Z_t = T_t + e_t \quad t = 1,2,\cdots,n$$ 식(2.2.1)

여기서 추세변동 T_t는 다음과 같이 시간 t에 관한 다항식으로 나타내는 것이 일반적이다.

$$T_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \cdots + a_k t^k$$ 식(2.2.2)

이 식을 식(2.2.1)에 대입하면 t에 관한 회귀방정식이 되므로 최소제곱법으로 계수 $a_0, a_1, \cdots, a_k$를 추정할 수 있다.

추세변동의 선형식과 비선형식을 나타내면, 식(2.2.3)~식(2.2.6)과 같다.

1. 1차 추세식

$$Z_t = a_0 + a_0 t + e_t$$ 식(2.2.3)

2. 2차 추세식

$$Z_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + e_t$$ 식(2.2.4)

3. 지수형 추세식

$$Z_t = \beta_0 \beta_1^t + e_t$$ 식(2.2.5)

4. S-곡선형 추세식

$$Z_t = \frac{10^a}{\beta_0 + \beta_1 \beta_2^t}$$ 식(2.2.6)

(1) 계절변동

계절변동이란 시계열이 계절별 또는 월별로 상승과 하강이 규칙적으로 반복되는 변동을 말한다. 그림 2.2.3의 월별 생산량 자료는 추세변동 이외에도 매년 6월에는 생산량이 증가하고 12월에는 감소하므로 계절변동이 포함된 시계열이다.

계절변동을 추정하기 위해서 다음과 같은 모형을 고려할 때,

$$Z_t = S_t + e_t, \quad t = 1,2,\cdots,n$$ 식(2.2.7)

여기서, 계절변동 S_t는 모든 t에 대해서 $S_t = S_{t+12}$를 만족하고 또한 각 월별 평균값 $\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_{12}$가 년도별로 일정하다고 가정하는 것이 일반적이다. 이를 만족하는 S_t는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_t = \begin{cases} \beta_1 & t = 1,13,25,\cdots \\ \beta_2 & t = 2,14,26,\cdots \\ \cdots & \\ B_{12} & t = 12,24,36,\cdots \end{cases}$$ 식(2.2.8)

이 S_t를 식(2.2.7)에 대입한 모형을 계절평균모형(seasonal means model)이라고 한다.

이제 이 모형을 간단하게 표시하기 위해 지시변수(indicator variable)를 다음과 같이 정의하면,

$$I_i(t) = \begin{cases} 1 & t = i, i+12,\cdots \\ 0 & t \neq i, i+12,\cdots \end{cases}$$ 식(2.2.9)

계절평균모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_t = \sum_{i=1}^{12} \beta_i I_i(t) + e_t$$ 식(2.2.10)

이 식을 이용해서 계수 β_i는 최소제곱법을 통해서 추정하면, 다음식을 얻을 수 있다.

$$\hat{\beta}_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} Z_i I_i(t)}{\sum_{i=1}^{n} I_i(t)} \quad i = 1,2,\cdots,12$$ 식(2.2.11)

(3) 순환변동

순환변동은 월별 또는 계절별 변동보다 장기적인 주기로 나타나는 변동이다. 일반적으로 순환변동은 다음과 같은 sine함수와 cosine함수의 합으로 나타낼 수 있다.

$$C_t = \alpha_0 + \sum_{i=0}^{n} \left\{ \alpha_i \cos\left(\frac{2\pi k_i t}{n}\right) + \beta_i \sin\left(\frac{2\pi k_i t}{n}\right) \right\}$$ 식(2.2.12)

이 식을 추세변동과 계절변동을 제거시킨 식

$$Z_t = C_t + e_t$$ 식(2.2.13)

에 대입하면 최소제곱법으로 모수 α_i와 β_i를 추정할 수 있다.

2.2.3 통계적 프로세스 관리분석(Statistic Process Control Analysis)

(1) 관리도의 원리

공정의 상태를 나타내는 특성치를 이용해서 변동에 영향을 끼치는 원인을 신속하게 판별하고, 발견된 이상원인에 대해서는 조처함으로써 공정의 관리상태로 유지시킬 수 있는 통계적 수법으로, 관리도란 그림 2.2.4와 같이 우연원인으로 인한 산포와 이상원인으로 인한 산포를 구분할 수 있는 중심선 상·하에 관리한계선(관리상한선, 관리하한선)을 결정한 다음 공정의 상태를 나타내는 특성치를 타점하여, 이 점이 관리한계선 밖으로 나가면 공정에 보아 넘기기 어려운 원인(이상원인)이 존재하고 그렇지 않으면 조사해 보아도 별로 뜻이 없는 우연원인에 의한 상태라는 시실을 시간의 경과에 따라 한눈에 알아 볼 수 있도록 그린 일종의 꺽은선 그래프이다.

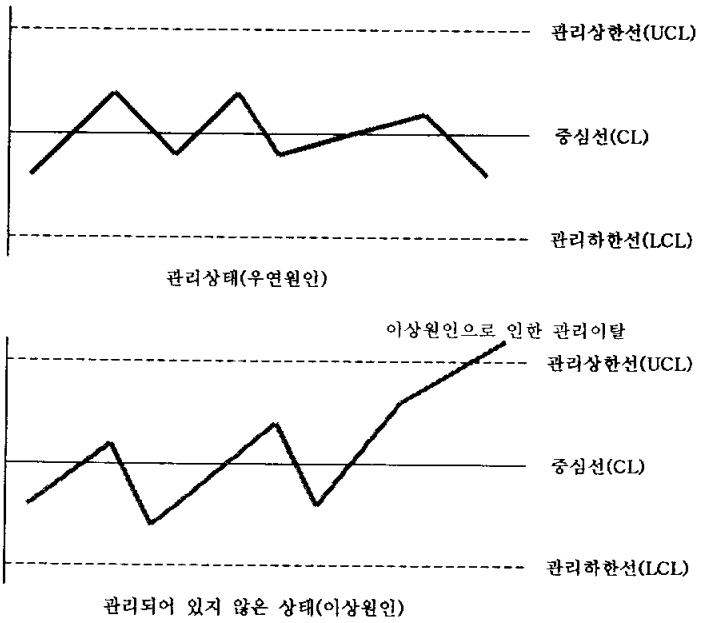


그림 2.2.4 관리도

(2) 관리도의 OC곡선

관리도의 공정의 변화가 얼마만큼 정확히 나타낼 수 있는가를 검토하는 방법으로 관리도의 OC곡선(Operating Characteristic Curve)이 있다. OC곡선은 공정의 관리수준과 그 수준에서 얻은 통계량이 관리한계선 내에 관측될 확률과의 관계를 나타낸다. 즉, OC곡선은 공정의 관리수준이 변화된 경우에도 관리도상에 한 점이 관리한계선 내에 관측됨으로써 공정의 변화가 없다고 잘못 판단할 위험(제2종의 과오)을 나타낸다.

검정력은 공정이 변화했을 때 관리한계선 밖으로 타점될 확률을 나타낸다. 공정의 이상(공정 평균의 변동, 공정 산포의 변화, 공정 불량률의 변화 등)을 가로축에 잡고 세로축에는 제2종의 과오로 해서 그래프를 그린 것이 OC곡선이다. 관리도의 검정력은 그림 2.2.5와 같다.

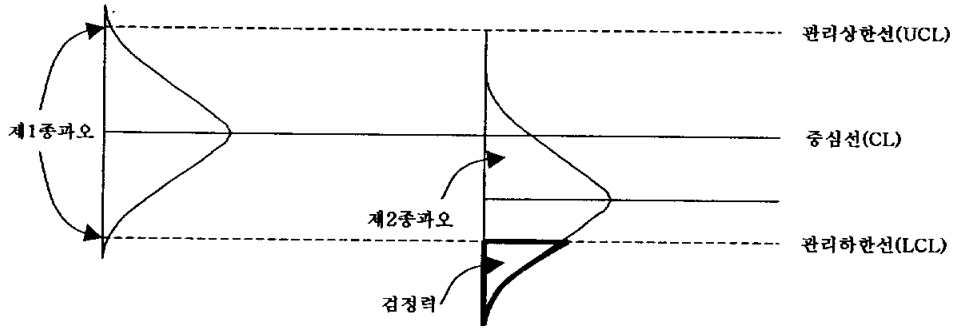


그림 2.2.5 관리도의 검정력

2.3 성과지수의 산정방법

공정상의 EVMS를 도입하는 중요한 이유중의 하나는 초기계획에 대비하여 실제 수행상의 일정 및 비용상의 변동을 정량화하여 효과적인 변동관리를 수행할 수 있다는 것이다.

EVMS의 중요한 지수인 비용성과지수(CPI)와 일정성과지수(SPI)는 얼마나 많은 비용과 시간이 전체 프로젝트를 마무리하는데 소요되는지를 결정하는 중요한 지수이다. 그리고 성과지수의 정량화와 그래픽화를 통해서 최고경영층 및 상위 프로젝트 관리자에게 프로젝트 전반에 관한 추세 및 상황을 파악할 수 있도록 해준다.

비용성과지수와 일정성과지수의 산정방식은 식(2.3.1)과 식(2.3.2)와 같다.

$$SPI = \frac{BCWP(= Earned\ Value)}{BCWS} = \frac{\text{실적비용}}{\text{계획공사비}} \qquad \text{식(2.3.1)}$$

$$CPI = \frac{BCWP(= Earned\ Value)}{ACWP} = \frac{\text{실적비용}}{\text{실투입비용}} \qquad \text{식(2.3.2)}$$

일정성과지수는 일정시점 기준의 실적비용에 계획공사비를 나누어 줌으로써 산정할 수 있으며, 비용성과지수는 실적비용에 실투입비용을 나누어 줌으로써 산정할 수 있다.

EVMS의 세가지 주요지표인 BCWS, BCWP, ACWP의 산정을 통한 성과지수(CPI, SPI)의 변화를 예시로 나타내면 그림 2.3.1~그림 2.3.4와 표 2.3.1과 같다.

초기 기본계획단계에서 세가지 업무가 종료후 시작(Finish to Start)이라는 제약조건으로 각각 5일간, 총 15일의 프로젝트로 기준선(baseline)을 설정하였다. 진행상황에서 업무A가 일정지연(2일) 및 초과근무시간(20시간)의 할당에 따른 비용증가로 상황보고날짜 9일 기준으로 주요 EVMS지표의 변동을 표 3.1.1에 나타내고 있다.

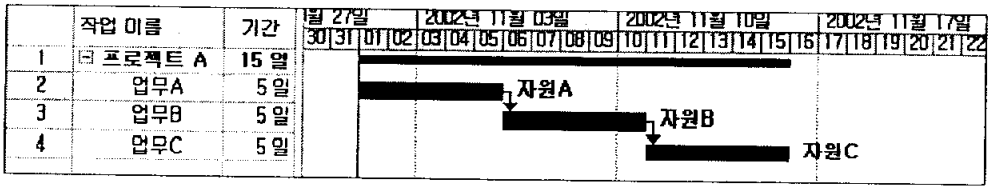


그림 2.3.1 기본계획단계의 바차트

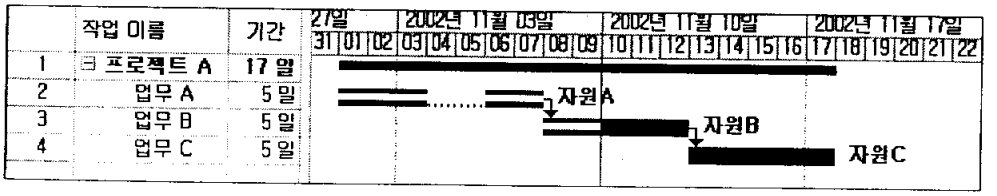


그림 2.3.2 진행단계의 바차트

표 2.3.1 상황보고날짜에서의 성과분석

	BCWS	BCWP	ACWP	BAC	CV	SV	SPI	CPI
프로젝트 A	\72,000	\56,000	\60,000	\120,000	-\4,000	-\16,000	0.78	0.93
업무 A	\40,000	\40,000	\44,000	\40,000	-\4,000	\0	1.00	0.91
업무 B	\32,000	\16,000	\16,000	\40,000	\0	-\16,000	0.50	1.00
업무 C	\0	\0	\0	\40,000	\0	\0	0.00	0.00

그림 2.3.3은 EVMS의 주요한 3가지 지표인 BCWS, BCWP, ACWP의 변동을 일정-비용곡선을 통해서 나타내고 있다.

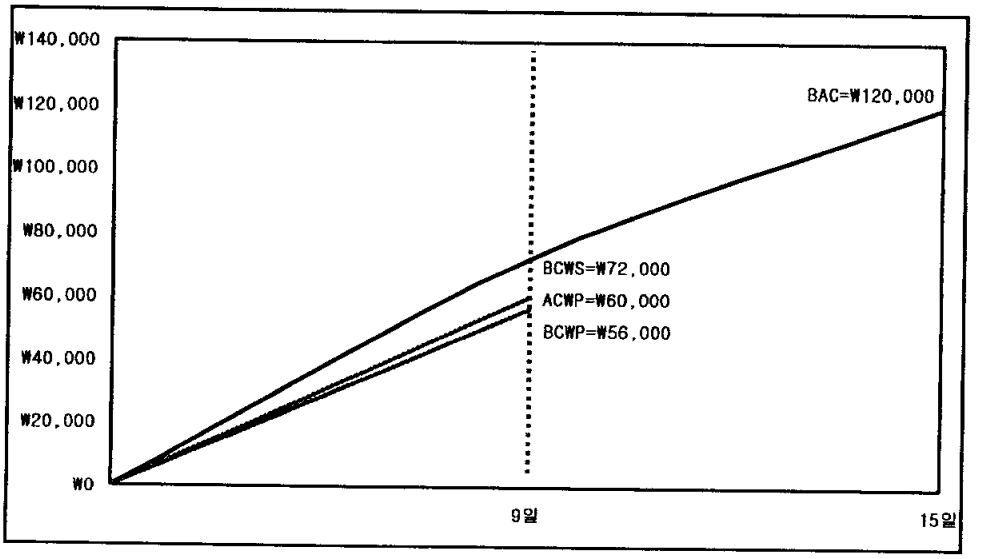


그림 2.3.3 누적 일정-비용곡선(S-Curve)

그림 2.3.4는 EVMS의 세가지 주요지표의 변동에 따른 상황보고날짜(data date)기준의 누적CPI와 누적SPI의 변동을 나타내고 있다.

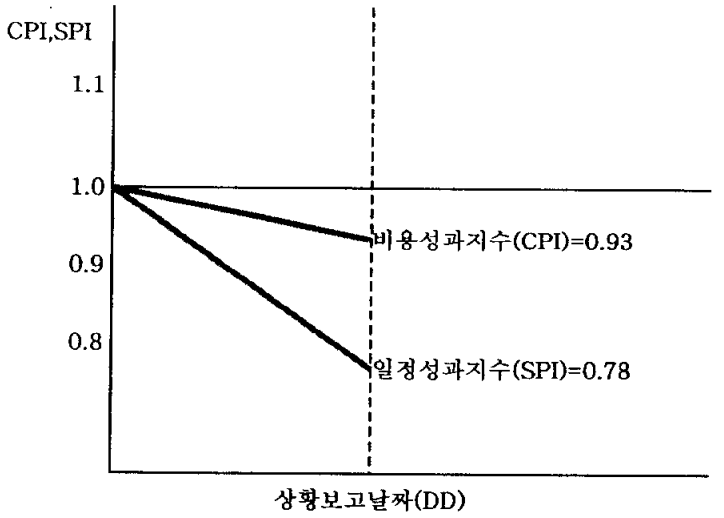


그림 2.3.4 누적CPI · 누적SPI

초기 기본계획대로 각각의 성과지수가 실제로 원만하게 진행된다면 1의 값의 갖지만, 실제 진행상황의 일정과 비용상의 변동이 발생하면 성과지수의 변화가 생기게 된다.

성과지수가 1보다 작은 값을 가진다는 것은 일정지연 및 비용초과가 발생했다는 것을 의미하며, 문제의 원인을 파악해서 적절한 공정관리 및 수정조치를 취해야 한다.

특히, 일정성과지수(SPI)에 비해 비용성과지수(CPI)의 변동에 더욱 민감하게 반응해야 한다. 왜냐하면 일반적으로 1보다 작은 비용성과지수(CPI)가 발생할 경우 프로젝트 전체공기동안에 정상적인 상태로 회복하는데 일정성과지수(SPI)에 비해 상당히 어려움이 있기 때문이다. 초기 일정지연에 따른 SPI의 하락을 만회하기위해 초과시간을 부여하는 것은 비용의 초과부담에 따른 CPI의 하락을 초래하게 된다. 그래서 프로젝트 관리자는 요주의 경로(critical path)상의 모든 공정에 대한 적극적인 진행관리와 더불어 누적CPI의 변동추세를 정밀하게 관리해야 한다.

2.4 통계적 데이터 분석방법

2.4.1 최소제곱법

회귀분석의 목적을 달성하기 위해서는 모회귀함수에 주어진 모수들을 정확하게 추정하는 것이 첫 번째 과제이다. 모수들을 추정하는 방법에는 여러 가지가 있지만 회귀분석에서 가장 보편적으로 사용되는 방법은 최소제곱법(least squares method)이다.

확률변수 X와 Y에 대한 n쌍의 관측값 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \cdots, (x_n, y_n)$이 주어졌다고 하면, 선형회귀모형의 가정하에 이 점들을 적합(fit)시킬 수 있는 많은 직선들이 존재할 수 있을 것이다. 그러나 이 직선들 중 모든 자료들을 가장 잘 적합시키는 직선을 결정하기를 원하며 이것은 모회귀모형에 주어진 모수 β_0와β_1에 대한 추정값을 계산함으로써 가능하다. 그러기 위해서는 가장 이상적인 방법은 자료점들을 지나는 직선을 구하는 것이다. 즉 수직으로 측정하였을 때 모든 자료점들과 직선과의 거리의 합이 0이 되는 어떤 직선을 선택하여야 한다. 그러나 확률적 관계에서 이 직선은 존재하지 않으며 최선의 선택은 그 합이 최소화되는 직선을 선택하는 것이다.

모수 β_0와β_1의 가능한 추정값을 각각 b_0와b_1으로 표시하면 추정된 직선인 표본회귀선을 식(2.4.1)과 같다.

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i \qquad \text{식(2.4.1)}$$

그리고 실제의 y_i값과 예측된 $\hat{y}_i$값의 차인 잔차(residuals)는 식(2.4.2)와 그림 2.4.1과 같다.

$$e_i = \hat{y}_i - b_0 - b_1 x_i \qquad \text{식(2.4.2)}$$

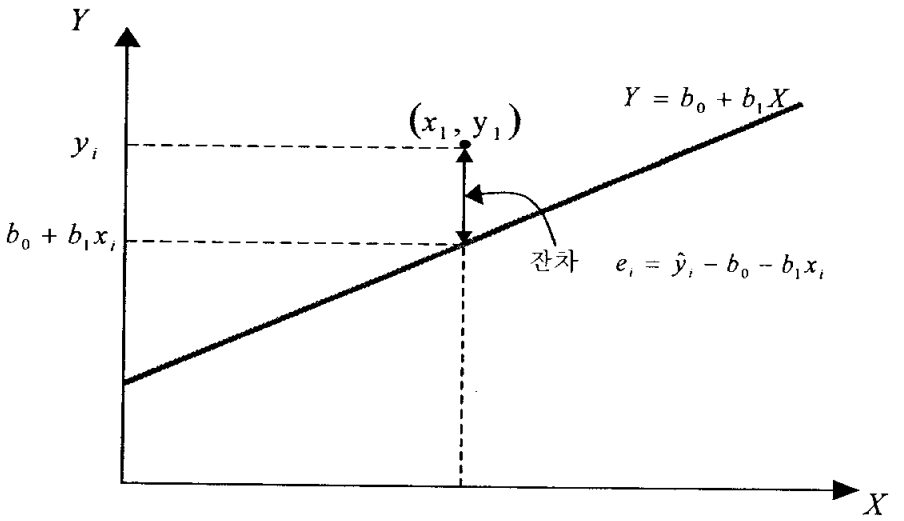


그림 2.4.1 잔차(residuals)

잔차제곱들의 합을 최소화하는 직선을 선택하는 것이 최소제곱법이며, 최소제곱추정값은 식(2.4.3)을 만족시키는 값 b_0와b_1이다.

$$\text{minimize}\sum(\hat{y}_i - b_0 - b_1 x_i)^2$$ 식(2.4.3)

최소제곱추정값 b_0와b_1을 나타내면 식(2.4.4)과 식(2.4.5)과 같다.

$$b_0 = \overline{Y} - b_1\overline{X}$$ 식(2.4.4)

$$b_1 = \frac{\sum x_i y_i - n\overline{XY}}{\sum x_i^2 - n\overline{X}^2}$$ 식(2.4.5)

2.4.2 이동평균법

시계열 자료 가운데에는 계절변동이나 불규칙변동 때문에 실제 추세가 잘 나타나지 않는 경우가 흔히 있다. 이 경우 계절변동이나 불규칙변동을 제거하여 시계열 전반적인 추세가 잘나타나도록 함으로써 예측을 가능케 하는 기법을 평활법(smoothing method)이라고 한다. 평활법에는 이동평균법(moving average method)과 지수평활법(exponential smoothing method)이 있다. 이동평균법은 최근 몇 개의 관찰값으로만 평균값을 구하는 방식으로 상수모형을 식(2.4.6)이라고 하면, 관찰된 시계열 $\{Z_t, t=1,2,\cdots,n\}$로부터 a에 대한 최소제곱 추정량을 구하면 식(2.4.7)과 같다.

$$Z_t = a + e_t$$ 식(2.4.6)

$$\hat{a} = \overline{Z} = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{\infty} Z_t$$ 식(2.4.7)

현재시점 t에서 N시점 전까지는 $\frac{1}{N}$의 가중치를 주고 N이전 시점에서는 0의 가중치를 주어 구한 평균을 단순이동평균(simple moving average)이라고 하며, 식(2.4.8)과 같다.

$$M_t = \frac{1}{N}(Z_t + Z_{t-1} + \cdots + Z_{t-N+1})$$ 식(2.4.8)

단순이동평균은 N의 크기에 따라 그 값이 달라진다. N의 값이 크면 M_t의 값은 상하변동에 둔감하게 되므로 서서히 변화고, N의 값이 작으면 상하변동에 민감하게 된다. 따라서 상하변동폭이 작은 경우에는 N의 값을 크게 잡고 상하변동폭이 큰 경우에는 N의 값을 작게 잡는 것이 보통이다.

그림 2.4.2와 그림 2.4.3은 N의 크기의 변동에 따른 이동평균의 변화의 예를 나타낸 것이다.

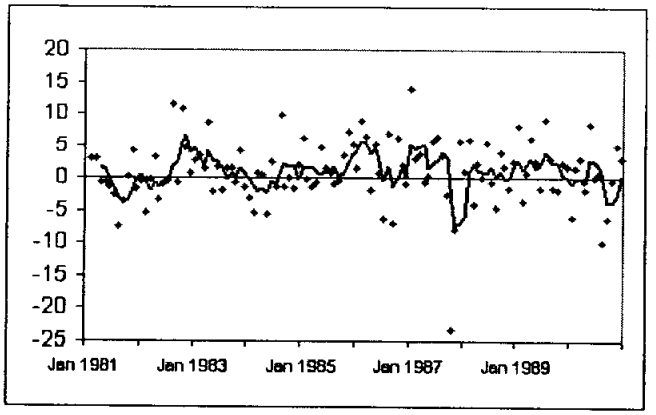


그림 2.4.2 N=3인 경우의 이동평균

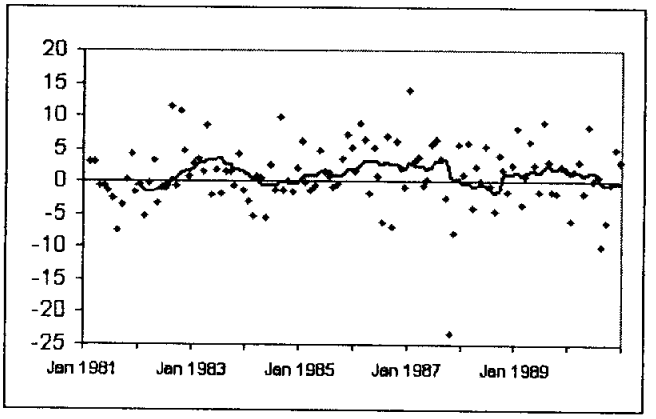


그림 2.4.3 N=12인 경우의 이동평균

2.4.3 지수평활법

이동평균은 몇 개 자료의 산술평균이므로 각 자료의 가중치는 동일하다. 그러나 예측값을 구할 때에는 과거시점의 자료일수록 그 가중값을 점차 작게 주는 것이 합리적이다. 이와 같이 가중값을 지수적으로 감소시켜 평활하는 방법을 지수평활법(exponential smoothing method)이라고 한다.

지수평활법을 도출하기 위해서는 먼저 시계열 $\{Z_t, t=1,2,\cdots,n\}$가 식(2.4.9)를 만족한다고 하면, 시점 t에서의 상수 a의 추정량 $\hat{a}_t$는 바로전 시점에서의 추정량$\hat{a}_{t-1}$에 시점 t에서의 관찰값 Z_t를 조정하여 반영하는 것이 합리적이다. 조정하는 방법으로는 $\hat{a}_t$의 값이 $\hat{a}_{t-1}$의 값과 Z_t의 값을 지나는 직선위에 있을 것이라고 가정하는 것이 오차 $e_t = Z_t - \hat{a}_{t-1}$을 최소화 하는 것이다.

편의상 $\hat{a}_t = S_t$라고 나타내면 S_{t-1}과 Z_t를 지나는 직선 위의 모든 점은 식(2.4.10)과 같이 나타낼 수 있으며, 이와 같이 조정하는 방법을 단순지수평활법이라고 한다.

$$Z_t = a + e_t \qquad \text{식(2.4.9)}$$

$$S_t = \omega Z_t + (1-\omega) S_{t-1} \quad 0 \le \omega \le 1 \qquad \text{식(2.4.10)}$$

여기서 S_t를 단순지수평활값(simple exponential smoothing value)이라 하고 ω를 평활지수(smoothing constant)라고 한다.

단수지수평활값 S_t는 실제로 모든 관찰값 $Z_1, Z_2, \cdots, Z_n$의 가중 평균값이다.

지수평활법에서 평활지수 ω의 크기는 평활값에 큰 영향을 준다. ω의 크기가 작으면 평활값의 시계열 변동이 둔감하고, ω의 크기가 크면 매우 민감하게 반응한다.

일반적으로 ω는 0.05~0.3의 값이 권장되나 오차의 제곱합을 최소로 하는 ω 값을 이용하는 것이 바람직하다.

그림 2.4.4와 그림 2.4.5는 각각 ω=0.05, ω=0.3인 경우의 지수평활의 변동 예를 나타내고 있다.

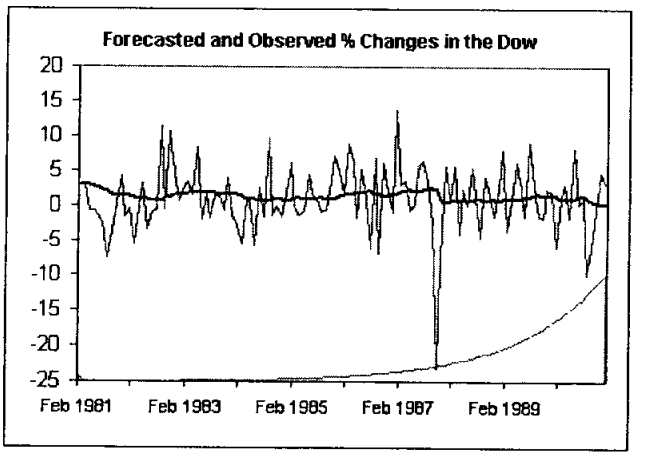


그림 2.4.4 ω=0.05인 경우의 지수평활

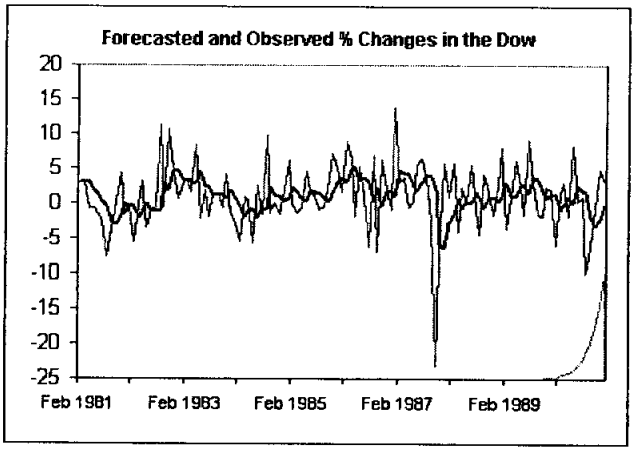


그림 2.4.5 ω=0.30인 경우의 지수평활

2.4.4 $\bar{X}$ 관리도

관리상태의 공정으로 크기 n의 자료 $X_1, X_2, \cdots, X_n$를 k개 추출하여 식(2.4.11)~식(2.4.14)와 같은 통계량을 구한다.

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i \qquad \text{식(2.4.11)}$$

$$R = \max(X_i) - \min(X_i) \qquad \text{식(2.4.12)}$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k} \bar{X}_i \qquad \text{식(2.4.13)}$$

$$\bar{R} = \frac{1}{k}\sum R \qquad \text{식(2.4.14)}$$

그리고 $\bar{X}$ 관리도의 관리한계선의 산정방식은 $X_1, X_2, \cdots, X_n$을 평균이 μ, 표준편차가 σ인 정규분포로부터 추출한 자료로 할 때 $\bar{X}$는 평균이 μ, 표준편차가 $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$인 정규분포를 따른다. 따라서 μ와 σ를 알고 있는 경우 $\bar{X}$에 대한 중심선 및 관리한계선은 식(2.4.15)~식(2.4.17)과 같다.

$$UCL = \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \mu + A\sigma \qquad \text{식(2.4.15)}$$

$$CL = \mu \qquad \text{식(2.4.16)}$$

$$LCL = \mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \mu - A\sigma \qquad \text{식(2.4.17)}$$

$\bar{X}$관리도는 공정평균 μ를 관리하고자 하는 관리도로써, 프로세스상에 문제가 되는 하위집단을 찾고, 문제가 발생한 하위집단의 어떤 요소가 문제가 발생했는지 파악하여 문제의 원인을 파악하는 것이다.

2.4.5 파레토 차트

파레토 차트는 현장에서 문제가 되고 있는 불량품, 결점, 클레임, 사고 등과 같이 현상이나 그러한 현상에 대한 원인별로 데이터를 분류하여 불량개수 및 손실금액 등이 많은 순서로 정리하여 그 크기를 막대그래프로 나타낸 것이다.

이 분석의 목적은 발생사례를 중요정도에 따라 분류해서 가장 중요한 것의 해결에 먼저 중점을 두려는 데 있다. 이 분석은 대부분 80%의 문제는 20%의 항목에서 발생한다고 해서 80-20법칙, 혹은 사소한 다수와 중요한 소수(Vital few)라고 한다. 예를 들어 80%의 제품결점들은 20%의 결점을 일으키는 요인들에서 기인 된다는 것이다.

파레토 차트의 특징은 다음과 같다.

① 어떤 항목이 가장 문제가 되는지를 찾아 낼 수 있다.

② 문제 크기의 순위를 한눈에 알 수 있다.

③ 그 항목이 전체의 어느 정도를 차지하고 있는지 알 수 있다.

④ 문제의 크기를 한눈에 볼 수 있기 때문에 설득력이 있다.

⑤ 복잡한 계산을 필요로 하지 않기 때문에 수월하게 그릴 수 있다.

파레토 차트는 문제해결의 도구는 아니고 분석도구이며, 문제들은 어떤 순서로 해결해야 할 것인가를 결정하는데 사용된다.

3. 사례분석

3.1 프로젝트 개요

본 사례의 OO프로젝트는 5년 이상의 장기프로젝트로써, 전체적인 프로젝트의 효율적인 관리를 위해서 EVMS를 도입하였으며, 상위수준의 6개 분야별 업무로 분류되어 수행되었다. 프로젝트 상에 과거 2년동안의 월별 성과자료를 중심으로 EVMS의 주요지표인 CPI, SPI를 산정하였다.

표 3.1.1와 표 3.1.2는 각 월별 성과분석을 수행하여, CPI, SPI를 산정한 도표를 나타내고 있다.

성과분석은 각각의 월말을 상황보고날짜(DD:Data Date)로 설정하여 수행하였으며, 각각의 업무의 실제투입비용(ACWP), 계획비용(BCWS), 실적진도비용(BCWP)을 산정하여, 일정 및 비용상의 성과치인 비용차이(CV), 일정차이(SV), 비용성과지수(CPI), 일정성과지수(SPI)를 산정하였다.

표 3.1.1 월별 성과분석 도표(2000년 1월)

ACTIVITY	BAC	ACWP	BCWP	BCWS	SV	CV	CPI	SPI
PROJECT A	3,966,400	143,310	122,016	148,800	-26,784	-21,294	0.85	0.82
업무A	169,600	23,904	19,840	24,800	-4,960	-4,064	0.83	0.80
업무B	876,800	23,893	19,592	24,800	-5,208	-4,301	0.82	0.79
업무C	680,800	22,545	19,840	24,800	-4,960	-2,705	0.88	0.80
업무D	680,800	23,945	20,832	24,800	-3,968	-3,113	0.87	0.84
업무E	436,800	24,223	20,832	24,800	-3,968	-3,391	0.86	0.84
업무F	876,800	24,800	21,080	24,800	-3,720	-3,720	0.85	0.85

표 3.1.2 월별 성과분석 도표(2000년 2월)

ACTIVITY	BAC	ACWP	BCWP	BCWS	SV	CV	CPI	SPI
PROJECT A	3,966,400	294,973	243,552	283,200	-39,648	-51,421	0.83	0.86
업무A	169,600	44,898	36,816	47,200	-10,384	-8,082	0.82	0.78
업무B	876,800	46,102	39,648	47,200	-7,552	-6,454	0.86	0.84
업무C	680,800	48,298	41,536	47,200	-5,664	-6,762	0.86	0.88
업무D	680,800	52,444	42,480	47,200	-4,720	-9,964	0.81	0.90
업무E	436,800	50,654	41,536	47,200	-5,664	-9,118	0.82	0.88
업무F	876,800	52,577	41,536	47,200	-5,664	-11,041	0.79	0.88

이와 같은 방식으로 2년동안의 월별로 산정된 성과지수를 통해서 프로젝트 전체에 대한 추세(Trend) 및 향후 진행 될 프로젝트의 흐름예측을 위해서 통계적 분석을 수행하였으며, 적용된 통계적 분석방법은 회귀분석법, 시계열분석법이다. 또한 과거 2년간의 성과지수의 통계적 프로세스 관리를 통해서 전체 프로젝트에 대한 월별 성과지수의 이상원인(special cause) 발생유무를 측정하고 시계열상의 일정과 비용상의 문제가 있는 시점을 분석하였다. 적용된 분석방법은 $\bar{X}$관리도와

파레토도를 적용하였다.

3.2 월별 CPI, SPI의 산정

전체 프로젝트 중에 최근 과거 2년 간의 월별 실적보고서를 분석하여 EVMS의 주요지표인 CPI, SPI를 산정하였다.

표 3.2.1과 표 3.2.2는 월별 CPI와 SPI를 나타낸 것이다.

표 3.2.1 월별 CPI의 산정

CPI	평균	업무A	업무B	업무C	업무D	업무E	업무F
1월('00)	0.85	0.83	0.82	0.88	0.87	0.86	0.85
2월	0.83	0.82	0.86	0.86	0.81	0.82	0.79
3월	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.83	0.83
4월	0.88	0.86	0.90	0.92	0.90	0.84	0.86
5월	0.91	0.92	0.94	0.93	0.91	0.88	0.89
6월	0.90	0.92	0.94	0.86	0.87	0.90	0.90
7월	0.88	0.86	0.84	0.88	0.90	0.86	0.92
8월	0.89	0.84	0.86	0.86	0.92	0.94	0.91
9월	0.90	0.86	0.88	0.92	0.90	0.95	0.91
10월	0.91	0.90	0.92	0.94	0.91	0.90	0.88
11월	0.93	0.92	0.94	0.96	0.92	0.91	0.91
12월	0.95	0.94	0.96	0.97	0.94	0.95	0.94
1월('01)	0.92	0.92	0.90	0.97	0.91	0.89	0.90
2월	0.89	0.88	0.86	0.95	0.88	0.89	0.86
3월	0.90	0.90	0.88	0.92	0.90	0.91	0.88
4월	0.92	0.94	0.90	0.90	0.94	0.93	0.90
5월	0.95	0.97	0.94	0.92	0.95	0.95	0.92
6월	0.94	0.98	0.92	0.95	0.91	0.93	0.95
7월	0.92	0.92	0.94	0.93	0.93	0.90	0.92
8월	0.93	0.90	0.95	0.96	0.92	0.94	0.93
9월	0.93	0.92	0.91	0.97	0.94	0.91	0.93
10월	0.94	0.95	0.92	0.93	0.94	0.96	0.94
11월	0.95	0.95	0.97	0.93	0.92	0.94	0.97
12월	0.97	0.99	0.99	0.94	0.98	0.97	0.96

표 3.2.2 월별 SPI의 산정

SPI	평균	업무A	업무B	업무C	업무D	업무E	업무F
1월('00)	0.82	0.80	0.79	0.80	0.84	0.84	0.85
2월	0.86	0.78	0.84	0.88	0.90	0.88	0.88
3월	0.88	0.79	0.89	0.91	0.85	0.90	0.93
4월	0.93	0.83	0.94	0.95	0.90	0.96	0.97
5월	0.88	0.88	0.87	0.89	0.92	0.87	0.84
6월	0.90	0.92	0.90	0.90	0.92	0.88	0.90
7월	0.86	0.85	0.87	0.88	0.86	0.84	0.86
8월	0.88	0.90	0.90	0.90	0.84	0.82	0.90
9월	0.86	0.86	0.87	0.85	0.84	0.87	0.85
10월	0.93	0.95	0.96	0.92	0.90	0.92	0.93
11월	0.96	0.98	0.99	0.94	0.90	0.94	0.98
12월	1.00	1.03	0.99	1.02	0.97	0.96	1.00
1월('01)	0.95	0.99	0.95	0.93	0.94	0.93	0.95
2월	0.90	0.92	0.93	0.89	0.90	0.88	0.90
3월	0.88	0.90	0.85	0.85	0.84	0.88	0.94
4월	0.90	0.90	0.88	0.84	0.86	0.93	0.96
5월	0.94	0.95	0.92	0.90	0.92	0.95	0.98
6월	0.94	0.91	0.91	0.92	0.90	1.00	1.02
7월	0.91	0.88	0.89	0.90	0.88	0.95	0.98
8월	0.92	0.90	0.92	0.94	0.90	0.94	0.94
9월	0.95	0.94	0.92	0.96	0.94	0.96	0.95
10월	0.96	0.98	0.99	0.94	0.95	0.94	0.98
11월	0.99	1.01	1.03	1.02	0.98	0.95	0.95
12월	1.02	1.05	1.01	1.02	1.03	1.00	1.00

4. 고찰

4.1 성과지수의 도식화

4.1.1 Box Plot을 이용한 CPI, SPI의 도식화

연도별 성과지수의 변동정도를 분석하기 위해서 BoxPlot를 이용해서 도시하였으며, 그림 4.1.1과 4.1.2는 월별 CPI, SPI의 BoxPlot을 나타내고 있다.

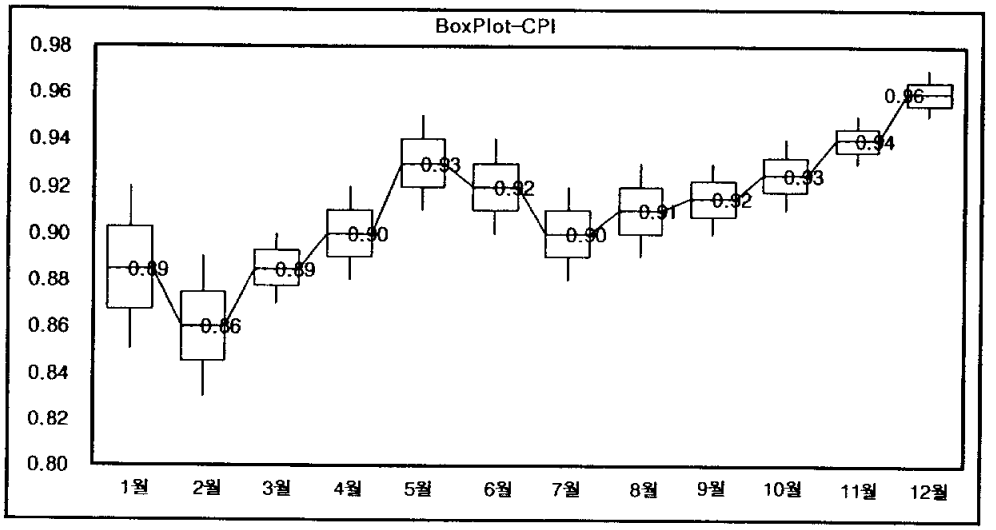


그림 4.1.1 월별 CPI의 BoxPlot

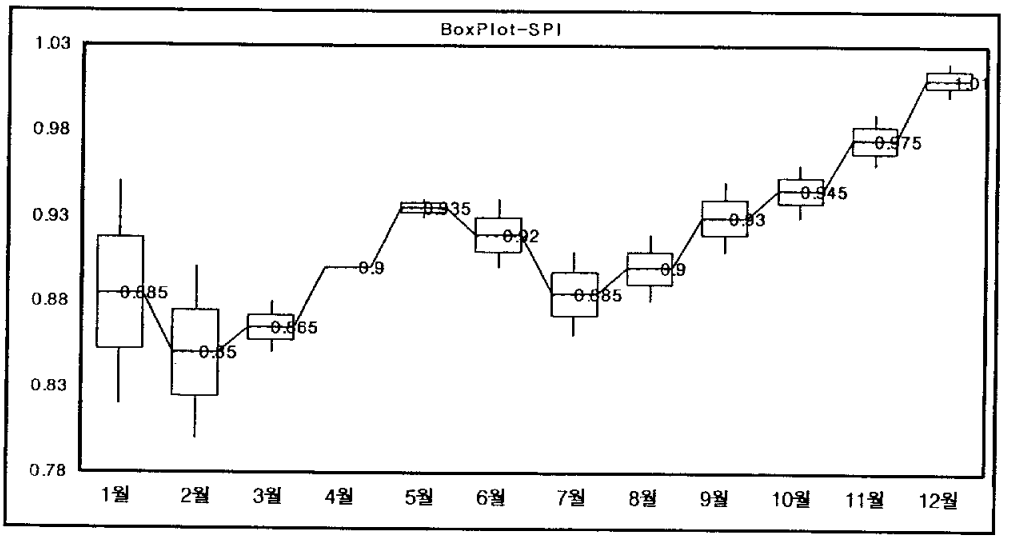


그림 4.1.2 월별 SPI의 BoxPlot

비용성과지수(CPI)는 프로젝트 시작시점인 1월과 2월에서 사분위범위(Interquartile range)가 0.035와 0.03으로 가장 크게 나타났다. 이는 2년 동안에 월별 비용성과지수(CPI)값의 변동에서 1월과 2월이 다른 월에 비해 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 일정성과지수(SPI)도 1월과 2월에서 사분위범위가 0.065와 0.02로 다른 월에 비하여 가장 크게 나타났다.

비용성과지수(CPI)와 일정성과지수(SPI)의 월별 BoxPlot을 분석해보면, 연도별 기준으로 각각의 성과지수가 변동의 폭이 전반적으로 작게 발생했으며, 이는 프로젝트 상에 연도별도 계절성(Seasonality)이 있는 것을 알 수 있다.

4.1.2 Line Plot을 이용한 CPI, SPI의 도식화

앞서 BoxPlot을 이용한 방법과 유사한 방법으로 전체 CPI, SPI의 흐름을 명확하게 구분하고 비교하기 위해서 연도별 성과지수의 변동정도를 LinePlot를 이용해서 도시하였으며, 그림 4.1.3과 4.1.4는 월별 CPI, SPI의 LinePlot을 나타내고 있다.

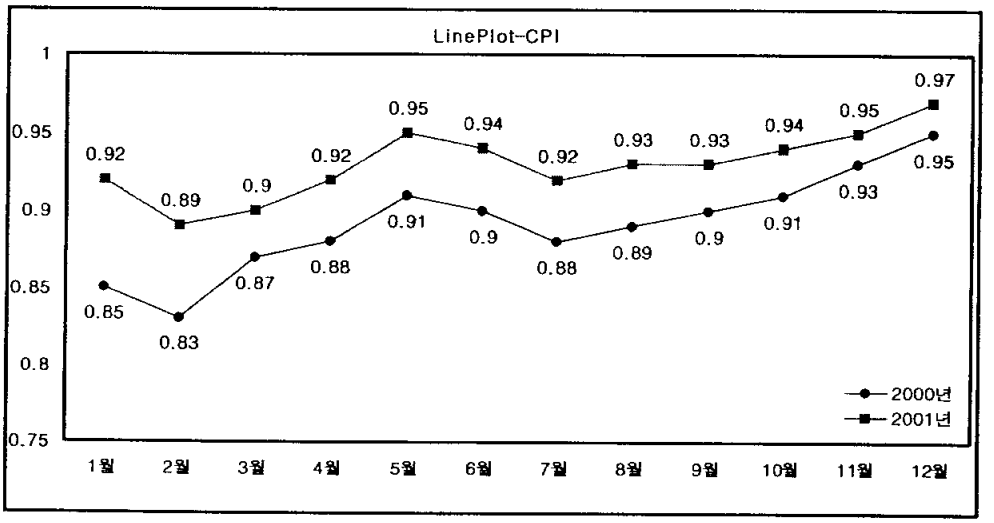


그림 4.1.3 월별 CPI의 LinePlot

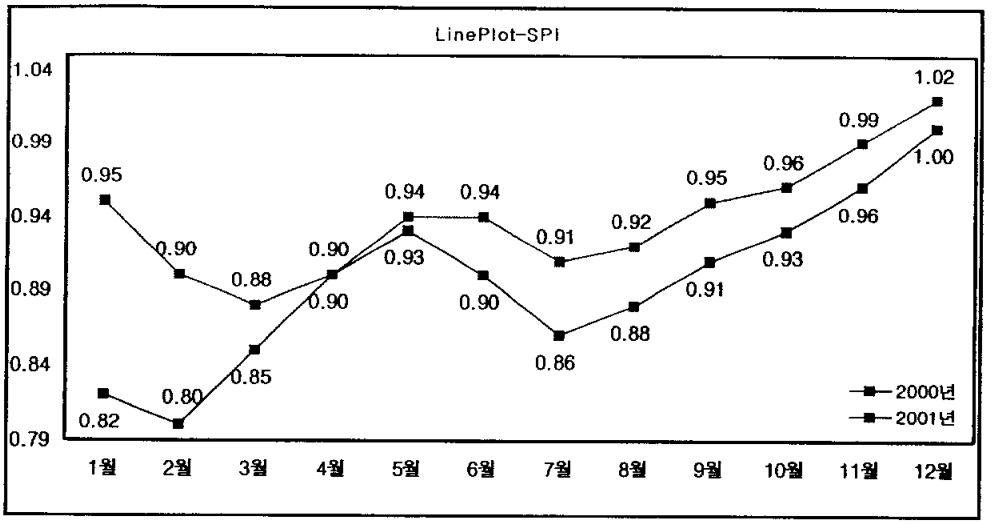


그림 4.1.4 월별 SPI의 LinePlot

비용성과지수와 일정성과지수의 LinePlot으로 도시한 것을 분석해 보면, 연도별로 명백한 계절적 패턴을 가지고 있으며, 시작시점인 1월과 2월, 중간시점인 6월과 7월에 각각의 성과지수가 감소하는 패턴을 보이고 있다. 이는 프로젝트상의 원인분석이 가능한 이상원인(Special Cause)이 발생한 것이며, 계절적 패턴상의 일정지연과 비용초과원인에 대한 분석이 요구된다.

그리고 비용성과지수(CPI)는 연도별 일정한 간격을 유지하면서 유사한 패턴으로 진행되었으며, 일정성과지수는 상반기에는 변동의 폭이 크게 변화하다가 하반기에 일정한 패턴을 유지하였다.

4.2 통계적 프로세스 관리(SPC)의 적용

각각의 성과지수에 대한 통계적 프로세스관리(Statistic Process Management)를 수행하기 위해서, $\overline{X}$관리도를 통해서 과거 2년간의 시계열별 성과지수의 관리상의 이상원인 유무 및 관리한계내 점의 패턴을 분석하였으며, 파레토차트를 통해서 시계열별, 업무별 문제를 도시하였다.

4.2.1 $\overline{X}-Chart$의 도식화

$\overline{X}$관리도를 도시한 결과, 연도별 프로젝트 시작시점과 완료시점에서 성과지수가 관리한계를 벗어났으며, 이는 이상원인(Special Cause)이 발생한 것으로 프로젝트상에 특정원인에 의한 비용 및 일정의 관리한계를 벗어나는 급격한 변동이 발생한 것으로 알 수 있다.

비용성과지수에 대한 관리도에서는 관리한계 내에서도 2001년 4월부터 2001년 11월까지 8개월동안의 중심선 상위에서 연속적인 점의 군을 이루는 것을 알 수 있으며, 이러한 점의 군을 런(Run)이라고 한다. 이는 프로젝트 공정상의 비용 및 일정상의 일정한 유지를 의미하며, 임의의 이상원인의 발생 없이 공사가 진행되고 있음을 알 수 있다.

그리고 비용성과지수와 일정성과지수의 $\overline{X}$관리도를 비교하면, 일정성과지수가 비용성과지수에 비하여 관리한계의 범위가 크며, 이는 일정상의 변동이 크다는 의미이며 즉, 일정지연이나, 조기진척의 정도가 크다는 것으로 프로젝트관리상의 안정적인 일정관리의 수행되지 못한 것을 알 수 있다.

그림 4.2.1와 그림 4.2.2은 월별 성과지수의 $\overline{X}$-chart를 도시한 것이다.

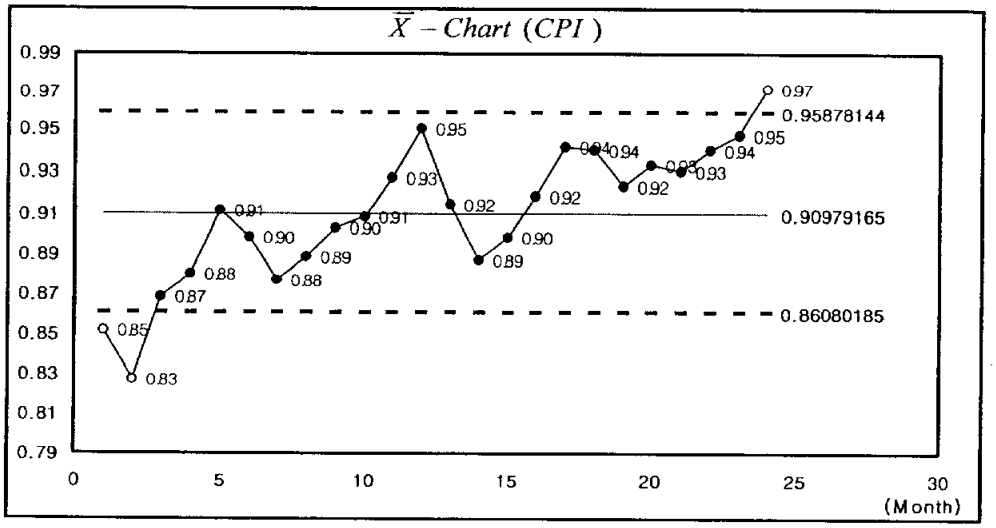


그림 4.2.1 월별 CPI의 $\overline{X}$-Chart

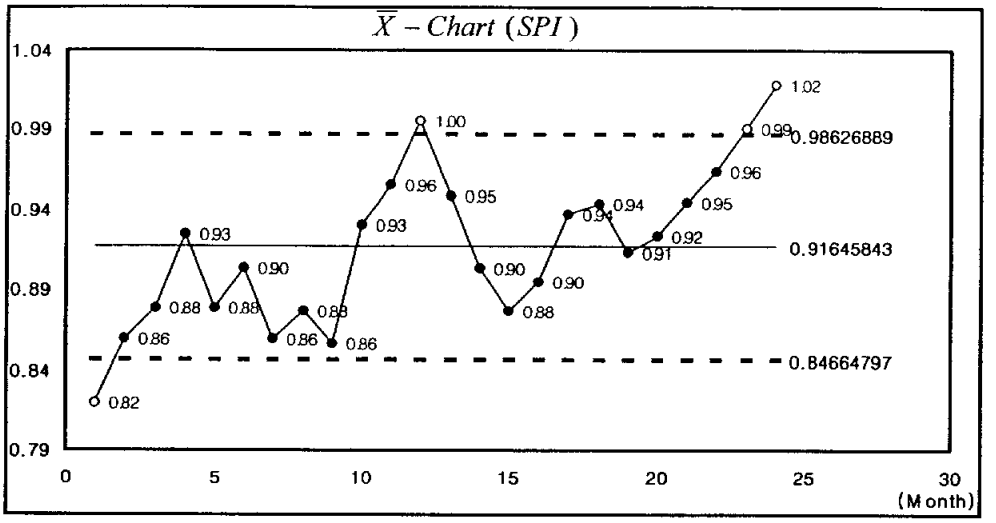


그림 4.2.2 월별 SPI의 $\overline{X}$-Chart

4.2.2 파레토 차트의 도식화

성과지수를 분석하기 위해서 파레트 차트를 두가지 방식으로 도시하였으며, 도식화를 위한 제약조건(constraint)을 각각의 성과지수가 0.9보다 적은 개수를 히스토그램으로 도표화하도록 하였다. 도식화 방법은 월별 기준과 업무별 기준으로 하였으며, 성과지수는 계획에 대비하여 실제의 값을 비교하는 것으로 1을 기준으로 하기 때문에, 0.9보다 작은 성과지수는 초기계획에 대비하여 일정지연 및 비용초과의 정도가 크다고 판단되어 조건을 정하였다.

그림 4.2.3과 그림 4.2.4는 월별 성과지수의 파레토 차트이며, 그림 4.2.5과 그림 4.2.6은 업무별 성과지수의 파레토 차트이다.

월별 기준으로 성과지수를 도시한 결과, 전체 대비해서 2000년도에서 거의 대부분을 차지하였으며, 시작시점부터 진행이 될수록 0.9보다 작은 성과지수의 수가 작아지고 있다. 이는 프로젝트상의 전반적인 일정·비용상의 개선이 되어가고 있음을 알 수 있다.

각각의 성과지수별로 도시한 결과를 분석해보면, 월별 비용성과지수는 연도별 기준으로 프로젝트의 초기시점인 2000년 1월, 2월, 3월에서 성과지수가 0.9보다 적은 업무가 6개로 가장 많았으며, 2001년 2월에는 5개, 3월에는 2개가 발생하므로써, 2000년이 2001년에 대비하여, 프로젝트상의 일정 및 비용상의 문제가 많이 발생한 것을 알 수 있으며, 2000년과 2001년 모두 초반기에 0.9보다 작은 성과지수가 많이 발생하는 것은 앞서 $\overline{X}$관리도에서 언급했듯이 계절적 요인이 있는 것을 알 수 있으며, 연도별 초반기에 일정·비용상의 문제가 많이 발생함을 알 수 있다.

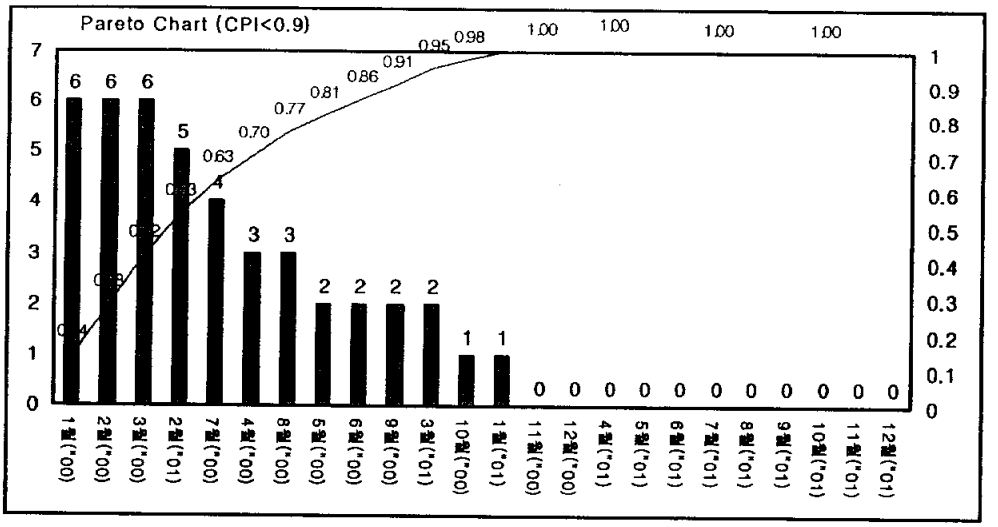


그림 4.2.3 월별 CPI의 파레도차트

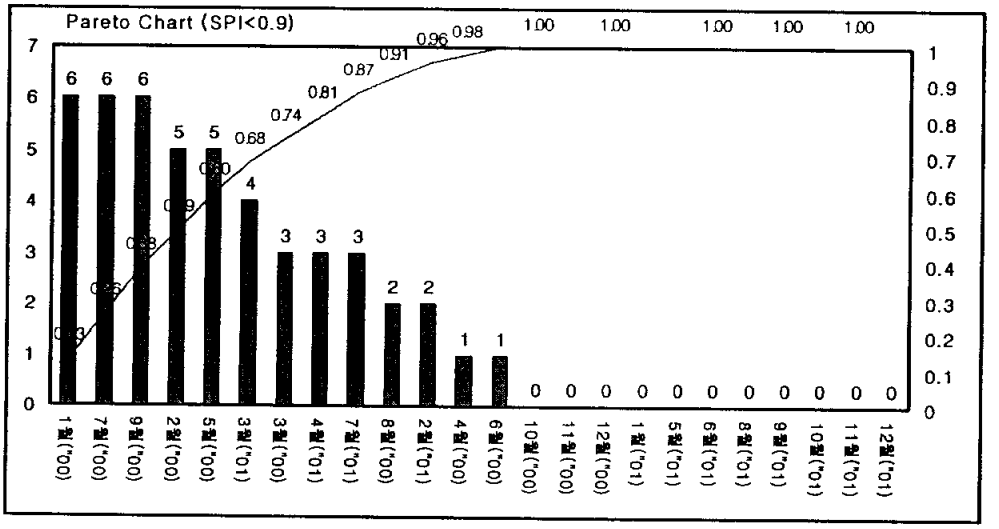


그림 4.2.4 월별 SPI의 파레토차트

업무별 기준으로 성과지수를 도시한 결과, 특정업무에 큰 변동이 발생한 것이 아니고, 전반적으로 모든 업무에서 골고루 발생한 것을 알 수 있다. 업무별 성과지수의 파레토차트를 비교하면, SPI의 파레토차트에서 각각의 업무에 0.9보다 작은 업무가 상대적으로 많은 것을 알 수 있으며, 이는 SPI의 업무의 변동폭이 CPI에 비해서 상대적으로 크다는 것이다. 즉, 비용에 비해서 일정상의 변동이나, 문제가 많이 발생한 것을 알 수 있다.

그림 4.2.5와 그림 4.2.6은 업무별 성과지수의 파레토 차트를 나타내고 있다.

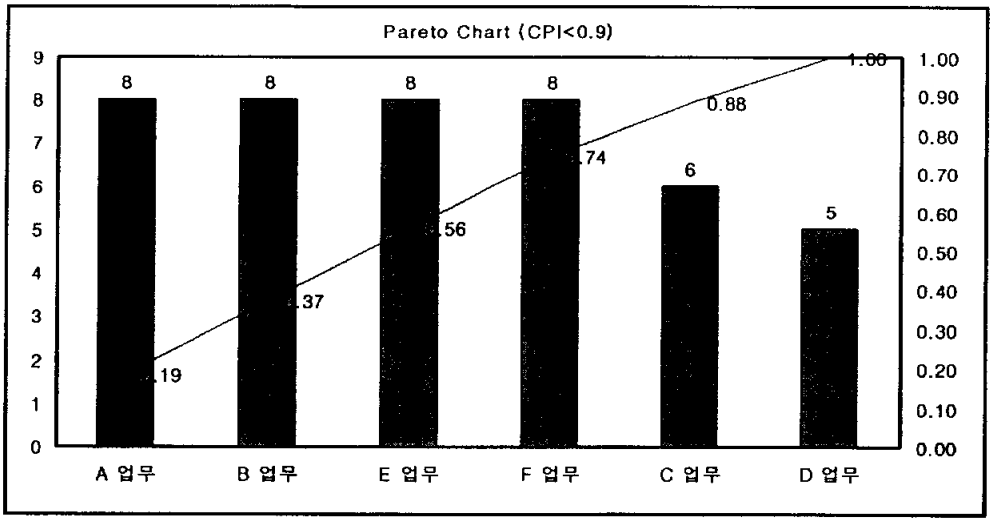


그림 4.2.5 업무별 CPI의 파레토차트

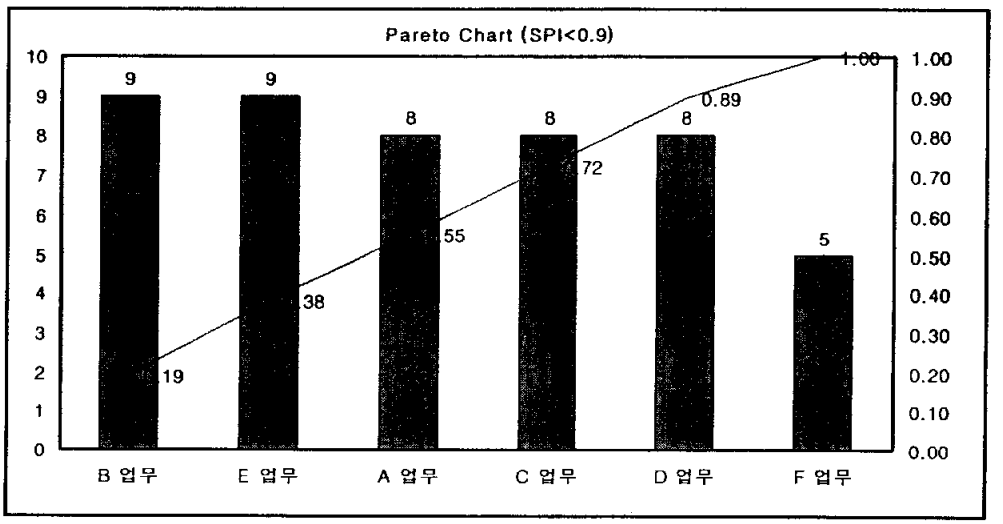


그림 4.2.6 업무별 SPI의 파레토차트

4.3 회귀분석을 통한 성과지수 예측

회귀식을 이용해서 성과지수의 향후에 진행되는 패턴을 분석하기 위해서, 비선형모델로써 로그식과 지수식을 적용하였으며 향후의 6개월의 추세(Trend)를 분석하였다.

4.3.1 로그식 회귀분석을 이용한 도식화

로그식을 이용하여 도시한 결과, 각각의 성과지수별 패턴은 점점 상승하는 경향을 가지고 있으며, 향후 6개월의 예측치도 점진적으로 상승하는 추세를 보이고 있다. 이는 계획 대비한 실제 공정이 점점 개선되는 방향으로 진행되고 있음을 알 수 있으며, 향후 정상적인 성과지수값인 1에 가깝게 점점 진행되고 있다.

각각의 성과지수의 회귀도표를 비교하면, 월별 CPI의 회귀도표상의 결정계수(R^2=0.7376)가 SPI의 회귀도표상의 결정계수(R^2=0.5735)보다 크게 나타났으며, 이는 CPI의 산포정도가 회귀선에 근접해 있다는 것으로, 월별 CPI의 회귀선에 더 신뢰할 만한 값인 것을 알 수 있다.

그림 4.3.1와 그림 4.3.2는 각각의 성과지수별 월별 로그식 회귀도표를 나타내고 있다.

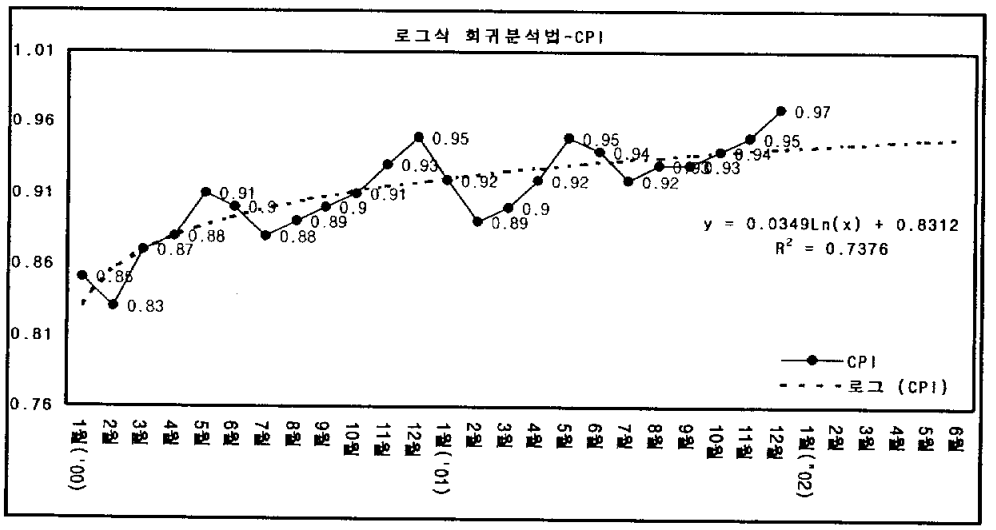


그림 4.3.1 월별 CPI의 로그식 회귀도표

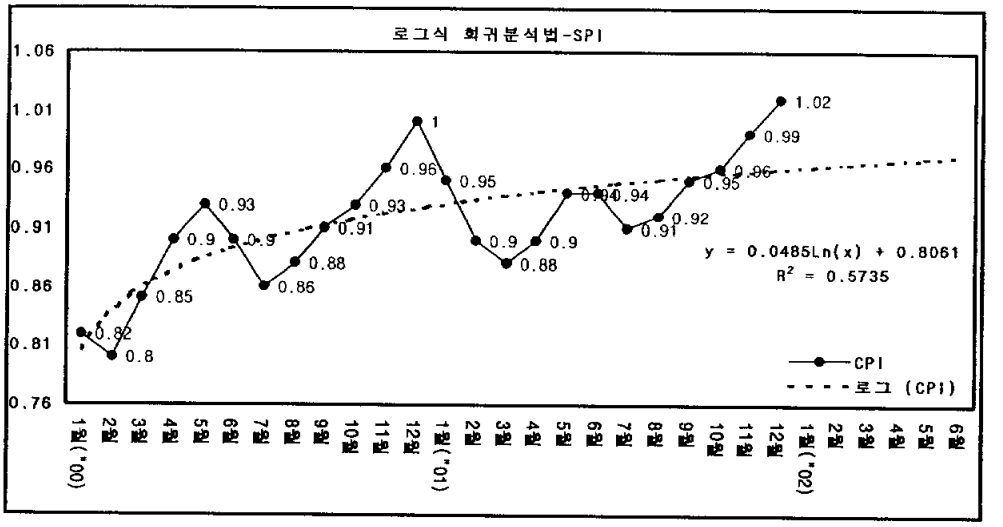


그림 4.3.2 월별 SPI의 로그식 회귀도표

4.3.2 지수식 회귀분석을 이용한 도식화

회귀분석을 위한 최소제곱법을 이용하여, 비선형모델인 지수식을 적용하였다. 지수식을 이용하여 도시한 결과, 앞서 서술한 로그식과 거의 유사하게, 점진적으로 상승하는 패턴을 보였으며, 향후 6개월동안의 예측값도 점진적으로 증가하였다. 그리고 각 성과지수별 결정계수값도 로그식과 유사하게 월별 CPI의 회귀도표가 상대적으로 크게 나타났다. 이는 또한 회귀선을 기준으로 월별 SPI의 산포정도가 CPI에 비해 널리 퍼져 있음을 의미하며, 일정의 불규칙성으로 관리상의 문제가 있음을 의미한다.

그림 4.3.3과 그림 4.3.4는 지수식을 이용한 월별 성과지수의 회귀도표를 나타내고 있다.

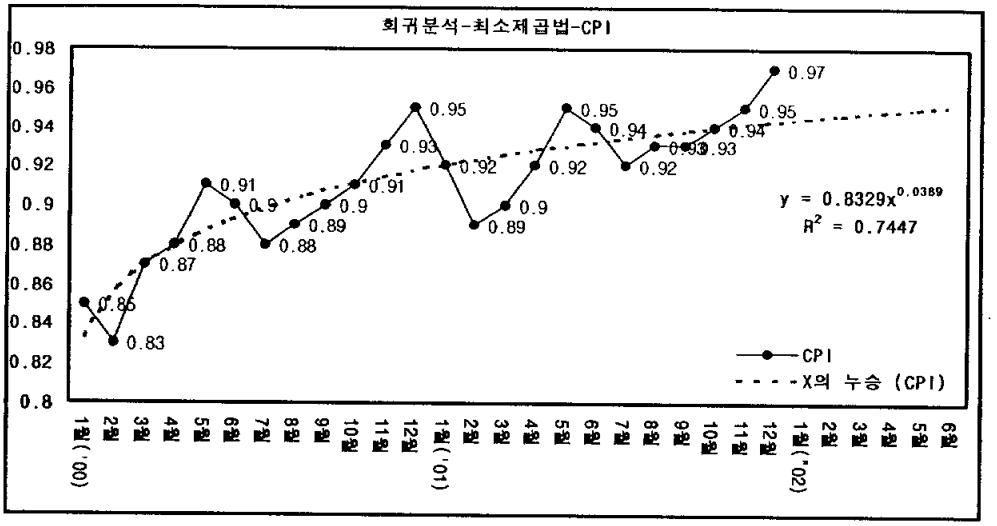


그림 4.3.3 최소제곱법을 이용한 월별 CPI의 회귀도표

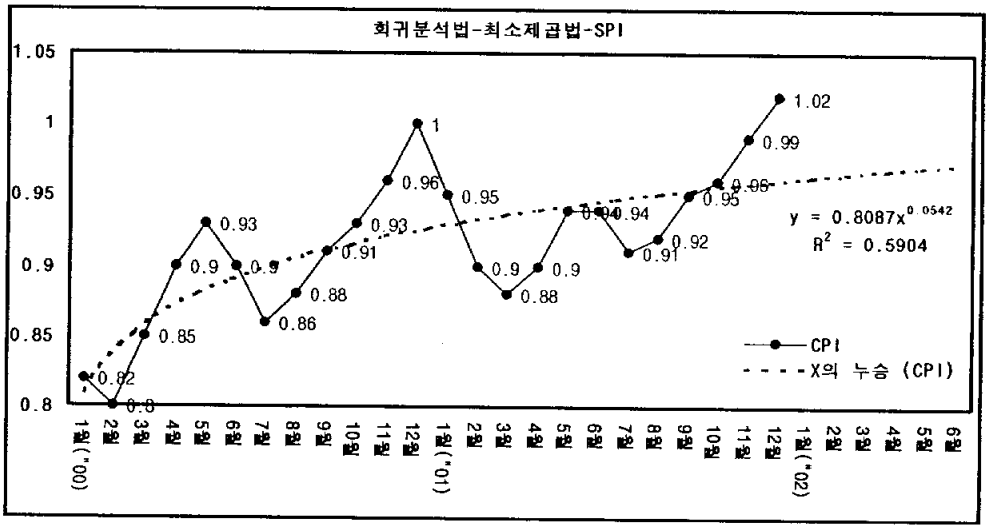


그림 4.3.4 최소제곱법을 이용한 월별 SPI의 회귀도표

4.4 시계열 분석을 통한 성과지수 예측

시계열 분석을 통해 각각의 성과지수의 추세를 분석하고, 시계열상의 패턴을 분석하기 위해서, 시계열 분석방법으로 지수평활법과 이동평균법을 적용하였으며, 지수평활법은 계절요인을 적용한 경우와 계절요인을 적용하지 않은 일정한 추세만을 분석하는 두가지 방법으로 적용하였다.

4.4.1 지수평활법을 이용한 도식화

계적적 요인을 도입하지 않은, 향후 진행될 추세만을 분석하기 위해서 지수평활법을 도입하여 도시한 결과, 향후 점진적으로 증가하는 패턴으로 나타났다. 그리고 향후 진행될 공정에 대한 추세값에서 월별 SPI가 월별 CPI의 값보다 조금 크게 나타났다. 이는 공정의 진행상에 비용의 회복정도보다 일정상의 회복정도가 크게 나타남을 알 수 있다.

그림 4.4.1과 그림 4.4.2은 계절적 요인을 도입하지 않고 지수평활법을 이용하여 월별 성과지수를 나타낸 것이다.

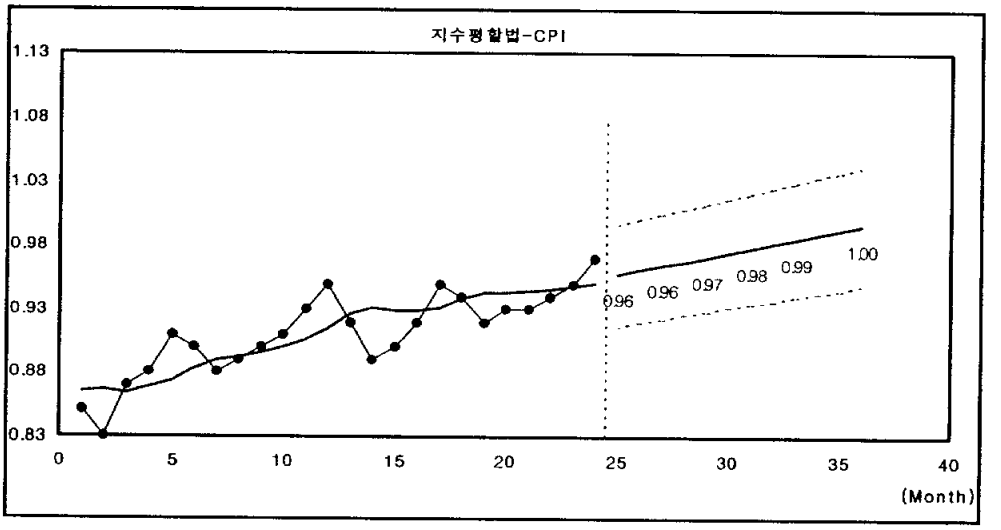


그림 4.4.1 지수평활법 이용한 월별 CPI의 예측

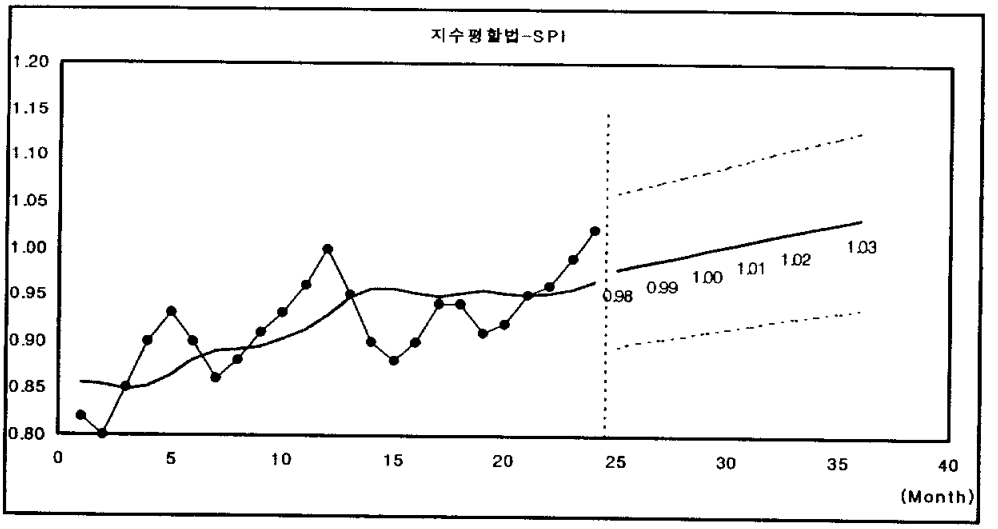


그림 4.4.2 지수평활법 이용한 월별 SPI의 예측

4.4.2 지수평활법(Seasonality적용)을 이용한 도식화

시계열상의 연도별 계절적 요인을 도입하여 도시한 결과, 각각의 성과지수의 계절적 패턴이 거의 일치하여 나타났으며, 이는 전체 프로젝트상의 연도별 변화 패턴이 거의 유사하다는 것을 의미한다. 향후 진행될 12개월간도 계절적 요인을 도입하여 예측한 결과, 연도별 계절적 변화패턴과 거의 일치하는 것으로 나타났다.

표 4.4.1과 표 4.4.2는 지수평활법을 이용하여 월별 성과지수를 산정한 값을 도표화한 것이며, 계절요인에 따른 가중치를 부여하여 산정하였다.

그림 4.4.3과 그림 4.4.4는 계절적 요인을 도입하여 월별 성과지수를 도식화한 것이다.

표 4.4.1 지수평활법을 이용한 월별 CPI의 예측(계절요인)

Obs.	CPI	Forecast
1	0.85	0.87
2	0.83	0.84
3	0.87	0.86
4	0.88	0.88
5	0.91	0.91
6	0.90	0.90
7	0.88	0.88
8	0.89	0.89
9	0.90	0.89
10	0.91	0.90
11	0.93	0.92
12	0.95	0.94
13	0.92	0.90
14	0.89	0.88
15	0.90	0.91
16	0.92	0.93
17	0.95	0.96
18	0.94	0.95
19	0.92	0.92
20	0.93	0.93
21	0.93	0.94
22	0.94	0.95
23	0.95	0.96
24	0.97	0.98

Obs.	Forecast	Lower	Upper
25	0.94	0.92	0.96
26	0.91	0.89	0.93
27	0.94	0.92	0.95
28	0.95	0.93	0.97
29	0.98	0.96	1.00
30	0.97	0.95	0.99
31	0.95	0.93	0.97
32	0.96	0.94	0.98
33	0.96	0.94	0.98
34	0.97	0.95	0.99
35	0.99	0.97	1.01
36	1.01	0.99	1.03

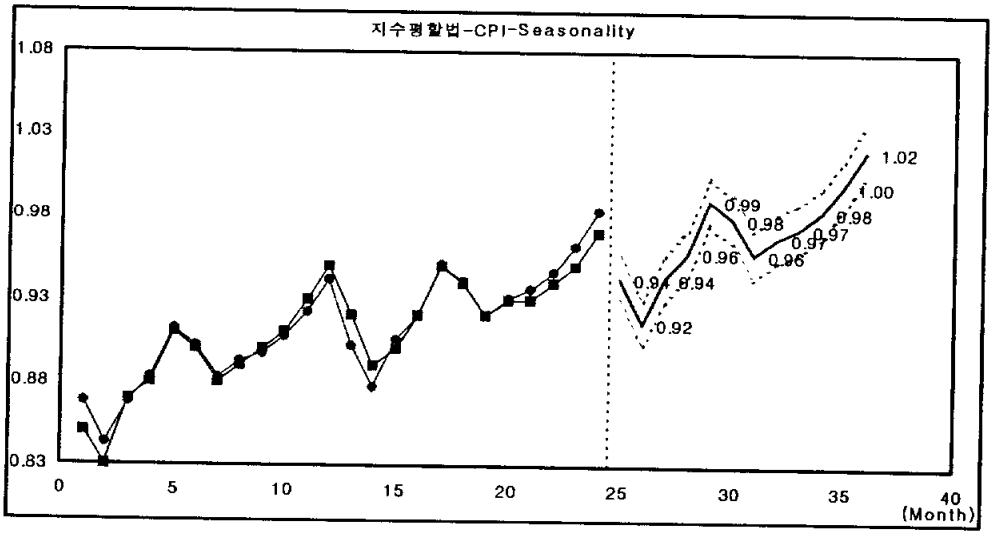


그림 4.4.3 지수평활법 이용한 월별 CPI의 예측(계절요인)

표 4.4.2 지수평활법을 이용한 월별 SPI의 예측(계절요인)

Obs.	SPI	Forecast
1	0.85	0.87
2	0.83	0.84
3	0.87	0.87
4	0.88	0.88
5	0.91	0.91
6	0.90	0.90
7	0.88	0.88
8	0.89	0.89
9	0.90	0.90
10	0.91	0.91
11	0.93	0.92
12	0.95	0.94
13	0.92	0.90
14	0.89	0.88
15	0.90	0.91
16	0.92	0.92
17	0.95	0.95
18	0.94	0.94
19	0.92	0.92
20	0.93	0.93
21	0.93	0.94
22	0.94	0.95
23	0.95	0.96
24	0.97	0.98

Obs.	Forecast	Lower	Upper
25	0.94	0.93	0.96
26	0.92	0.90	0.93
27	0.94	0.93	0.96
28	0.96	0.94	0.97
29	0.99	0.98	1.00
30	0.98	0.96	0.99
31	0.96	0.94	0.97
32	0.97	0.95	0.98
33	0.97	0.96	0.99
34	0.98	0.97	1.00
35	1.00	0.98	1.01
36	1.02	1.00	1.04

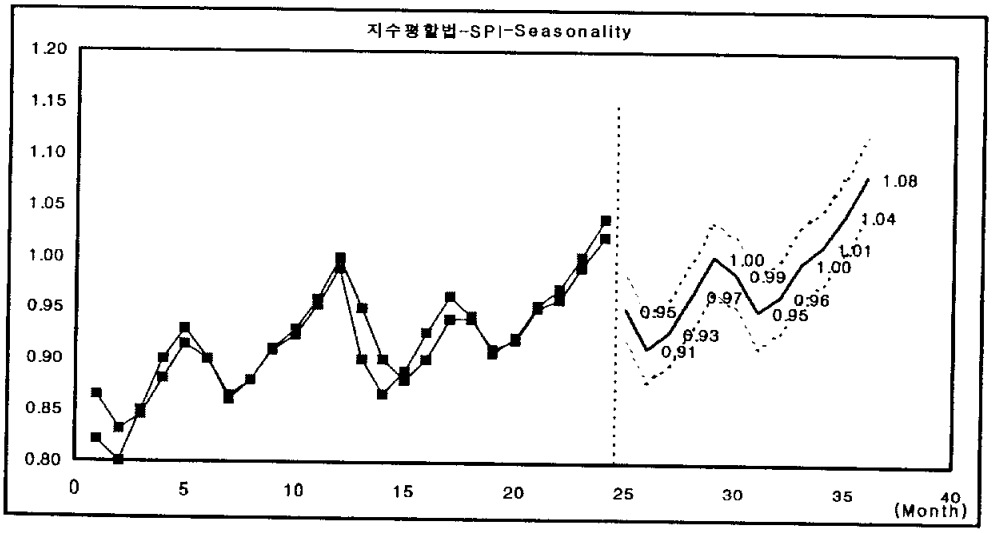


그림 4.4.4 지수평활법 이용한 월별 SPI의 예측(계절요인)

4.4.3 계절지수(Seasonality Indices)의 도식화

각각의 성과지수에 대한 연도별 계절지수를 도시한 결과, 비용성과지수(CPI)는 1월과 2월사이와 5월과 7월사이에 감소하는 경향을 보였으며, 2월부터 6월까지

급격하게 상승한 것으로 나타났다. 월별 비용성과지수의 변동폭이 큰 지점을 파악하여, 적절한 공정관리를 통한 평활화(smoothing)가 필요할 것으로 예상된다.

일정성과지수(SPI)도 비용성과지수와 마찬가지로 1월과 2월사이와 5월과 7월사이에 감소하는 경향을 보이고 있으며, 이는 비용과 일정사이의 변동이 같은 패턴으로 변동하였다는 것을 말하며, 비용과 일정사이의 계절별 요인을 파악하여, 전반적인 프로젝트상의 안정적인 관리를 위한 공정관리가 요구된다. 즉 프로젝트의 주경로(CPM)상의 액티비티(activity)를 중점적으로 일정조정 및 자원의 분배를 다시 효과적으로 수행해서, 계절지수상의 급격하게 감소하는 부분과 증가하는 부분에 대해서, 적절한 공정(schedule)의 재조정이 요구된다.

그림 4.2.20과 그림 4.2.21은 성과지수에 대한 월별 계절지수를 나타내고 있으며, 표 4.4.3은 성과지수의 월별 계절지수를 산정한 값이다.

표 4.4.3 성과지수별 월별 계절지수

계절지수	CPI	SPI
1	0.990	0.990
2	0.959	0.959
3	0.983	0.983
4	0.996	0.997
5	1.026	1.026
6	1.012	1.012
7	0.986	0.986
8	0.994	0.994
9	0.996	0.996
10	1.003	1.003
11	1.016	1.016
12	1.034	1.034

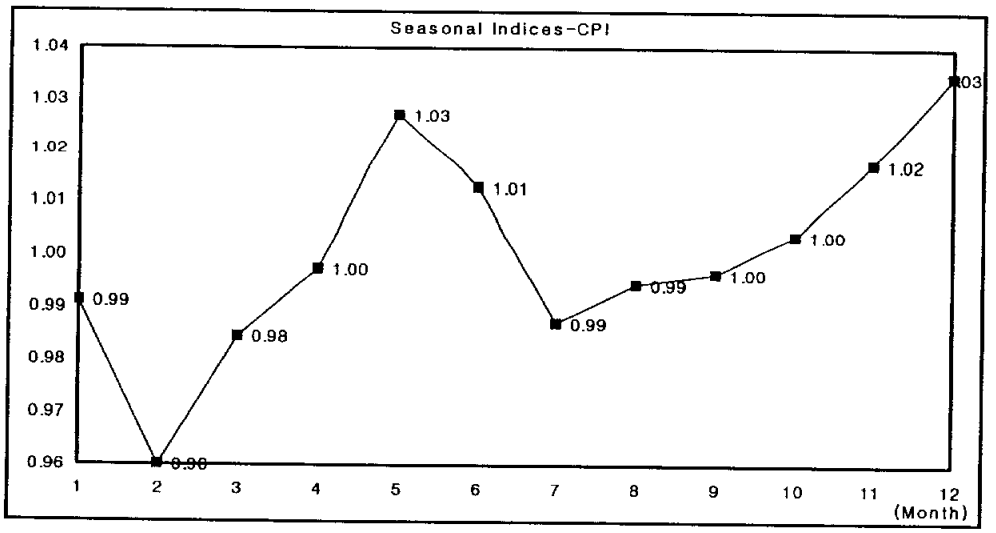


그림 4.4.5 월별 CPI의 계절지수

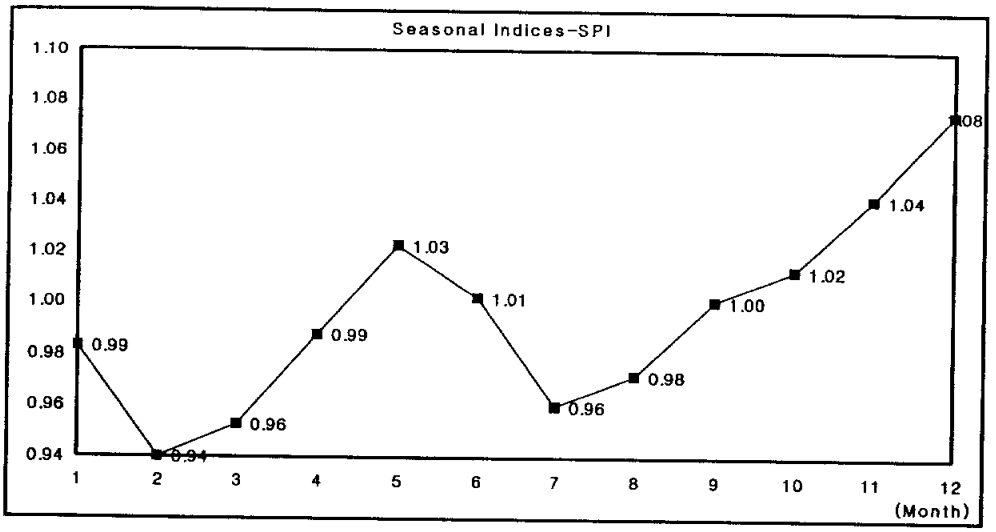


그림 4.4.6 월별 SPI의 계절지수

5. 결론

본 연구에서는 EVMS를 도입한 공정상에 성과지수(CPI, SPI)의 통계적 분석을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연도별 성과지수를 LinePlot한 결과, 명백한 계절적 패턴을 가지며, 시작시점인 1월과 2월, 중간시점인 6월과 7월에 각각의 성과지수가 감소하는 패턴을 보이고 있다.

2. $\bar{X}$관리도로 나타낸 결과, 프로젝트 시작시점과 완료시점에서 성과지수가 관리한계를 벗어났으며, 또한 일정성과지수가 비용성과지수에 비하여 관리한계의 범위가 크게 나타났다.

3. 파레토 차트상의 성과지수(0.9보다 작은 업무)를 분석한 결과, CPI는 2000년 1월, 2월, 3월에서 전체대비 42%, SPI는 2000년 1월, 7월, 9월에서 전체대비 38%로 업무의 지연 및 비용초과가 가장 많이 발생할 것으로 나타났다.

4. 로그식을 이용하여 회귀분석을 수행한 결과, 성과지수패턴은 점점 증가하는 경향을 가지고 있으며, 최적의 성과지수값인 1에 가깝게 접근하고 있다. 그리고 CPI의 결정계수(R^2=0.7376)가 SPI의 결정계수(R^2=0.5735)보다 크게 나타났다.

5. 지수평활법을 적용하여 성과지수를 분석한 결과, 향후 점진적으로 증가하는 패턴으로 나타났으며, 월별 SPI가 월별 CPI의 값보다 조금 크게 나타나 공정진행상에 비용보다 일정의 개선정도가 좋게 나타났다.

6. 계절적 요인을 도입하여 시계열상에 나타낸 결과, 기왕의 성과지수의 계절적 패턴과 향후 진행될 12개월간의 성과지수의 계절적 변화패턴이 거의 비슷한 것으로 나타났다.

7. 성과지수에 대한 연도별 계절지수를 나타낸 결과, 1월과 2월사이와 5월과 7월사이에 감소하는 경향을 보였으며, 2월부터 6월까지 급격하게 상승한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 한국건설산업연구원, "건설관리 및 경영", 보성각, 2000
2. 정영수, 이영환, "EVMS의 이해와 활용방안", 한국건설산업연구원, 1999
3. 최윤기, "일정과 비용을 통합한 건설공사 진도율 산정시스템", 박사학위논문, 서울대학교, 1999
4. 김선규, 김재준, "EVMS 최종공사비 예측 모델 최적성과지수에 대한 고찰", 건설관리학회지, 제1권 제3호, 2000
5. 이유섭, "건설공사 EVMS적용방안", 한국건설기술연구원, 2001
6. 김원경, "시계열분석의 이해", 교우사, 1999
7. 손영숙, 조신섭, "시계열분석", 율곡출판사, 1997
8. 김연성 외 5명, 품질경영론, 박영사, 2001
9. 김평구, 김희철, "통계적 품질관리", 교우사, 1998
10. 이준형, "통계분석", 수영문화사, 1998
11. 노형진, "Excel2000을 활용한 통계적품질관리", 형설출판사, 2000
12. Kenneth N. Berk, Patrick M. Carey, "Data Analysis", Duxbury, 2001
13. Quentin W. Fleming, Joel M. Koppelman, "Earned Value Project Management", PMI, 2000
14. PMI, "A Guide to the Project Management Body of Knowledge", PMI, 2000
15. Barry Render, Ralph M. Stair, Jr, "Quantitative Analysis for Management", Prentice Hall, 2000
16. R. Max Wideman, "Project and Program Risk Management", PMI, 1992
17. Elaine Marmel, "Microsoft Project 2000 Bible", Hungry Minds, 2001
18. Carl S. Chatfield, "Microsoft Project 2000 Step by Step", Microsoft Press, 2000
19. Kathy Schwalbe, "Information Technology Project Management", Course, 2000
20. John M. Nicholas, "Project Management for Business and Technology", Prentice Hall, 2000
21. Christensen, David S. and Scott Heise, "Cost Performance Index Stability",

National Contract Management Journal, 1992

22. Christensen, David S, "Using Performance Indices to Evaluate the Estimate at Completion", Journal of Cost Analysis, 1994

23. Deng, Michael Z. M. and Y. F. Hung, "Integrated Cost and Schedule Control: A Hong Kong Perspective", Project Management Journal, 1998

24. Fleming, Quentin W. and Joel M. Koppelman, "The Essence of Evolution of Earned Value", Cost Engineering, 1994

감 사 의 글

지난 2년 동안 아낌없는 격려와 도움을 주신 모든 분들에게 진심으로 머리 숙여 감사의 마음을 전합니다. 먼저, 이 논문이 완성되기까지 끝없는 도움과 가르침을 주신 이영대 교수님께 감사를 드립니다. 그리고 연구과정동안 부족한 저의 논문을 다듬어서 완성할 수 있게 해주신 이종출 교수님, 정두회 교수님, 산업공학과 김수용 교수님께 감사드립니다. 또한 대학원 과정에서 아낌없는 지도와 배움을 배풀어주신 김상용 교수님, 김종수 교수님, 이동욱 교수님, 김명식 교수님, 장희석 교수님, 이종섭 교수님, 정진호 교수님, 이환우 교수님, 국승규 교수님, 이상호 교수님께 감사를 드립니다.

그리고 논문이 작성될 수 있도록 많은 가르침과 실무에서의 배움을 주신 김정기 선배님에게도 깊이 감사드립니다.

함께 연구실에서 동고동락한 강병욱 동기, 박정현 후배, 김용득 후배에게도 고마운 마음을 전합니다.

어려운 생활여건 속에서도 항상 열심히 공부할 수 있도록 배려해 주진 부모님께 무한한 감사를 드립니다.

끝으로 저에게 격려와 용기를 주신 모든 분들에게 다시 한번 감사의 마음을 전하며, 끊임없이 연구와 노력을 할 것을 다짐합니다.

2003. 1

김 영