

하천제방 시설물의 유지관리를 위한 분석프로그램 개발

Development of Analysis Program for Maintenances of Levee Facilities

유병선¹⁾, Byungsun Yoo, 박용대²⁾, Yongdae Park, 김활수³⁾, Hualsoo Kim, 장기태⁴⁾, Kitae Chang

1) (주)삼안 기술개발연구원 책임연구원, Research Center of Saman Co. Ltd.

2) (주)삼안 기술개발연구원 연구원장, Research Center of Saman Co. Ltd.

3) (주)삼안 기술개발연구원 선임연구원, Research Center of Saman Co. Ltd.

4) 국립금오공과대학교 토목환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil&Envir., KNU

SYNOPSIS : The Aim of this development is the management of a forecasting analysis program based on a real-time remote sensing data. Using this program it is possible to predict a failure of levee facilities in advance. therefore, it is necessary for making plans of a safety countermove. In this development we have researched the analysis method which could operate effectively the levee facilities using real-time monitoring data from a remote sensing system and the safety managerial program using the algorism from the analysis method developed.

Key words : Levee facilities, Maintenance, Forecasting analysis, Managerial program

1. 서론

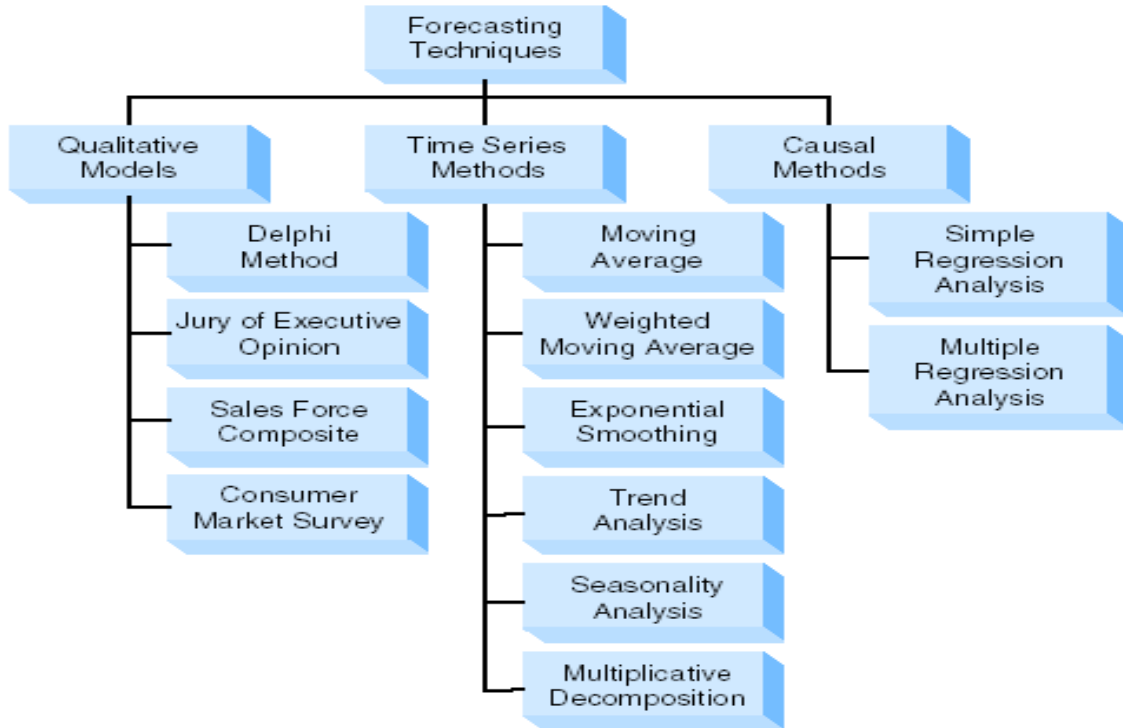
우리나라에서 2002년도부터 2004년도까지 태풍 '루사(Rusa)' 및 '매미(Maemi)'등 크고 작은 태풍의 내습과 잦은 강우로 인하여 모든 유역의 대·소하천 모두가 제방붕괴 및 유실, 하천의 범람 등으로 많은 수해피해를 입었다. 이는 설계당시 기존의 호우사상과는 달리 어느 지역에 국지적이며 집중적(계릴라성)인 강우로 발생하여 예측이 불가능하고 수문학적 확률의 초과강우로 인하여 하천의 홍수지속시간이 3일 ('02년도 설계개념)인 72시간을 넘어섬에 따라 제방의 체체가 포화되어 슬라이딩 등이 발생되고 파이핑, 체체 및 구조물 부위의 누수 등이 생성된 것으로 조사 추정된다(문대호, 2006).

하천구조물에서 기존 제방의 누수 등이 발생된 사례를 통하여 2002년의 통계로 배수통문 관련 홍수 피해는 12%(453건 중 54건)에 해당되어 하천시설물(구조물)에 의한 수해피해의 규모가 점차 커지고 있음을 나타낸다. 또한, 매년 하천 분야에서 종사하시는 분들은 홍수기 이전에 제방점검을 하여 어느 제방에 문제점이 발견되었는데 예산상 문제로 임시 보수만하여 홍수피해에 대하여 재해대책업무시 항상 초긴장상태로 근무하고 있는 실정이다. 따라서 효과적인 제방안전관리를 위하여 수자원(수리, 수문학적), 토질 및 구조적 측면의 다각적인 내용을 고려할 수 있는 미래지향적인 첨단안전관리기법을 개발하는 것이 절실히 필요하다.

본 연구는 국가 시설물 유지관리네트워크 구축과제의 일환으로서 수리시설물로부터 원격 측정된 계측 자료를 통한 분석기법 및 이에 근거한 안전관리 프로그램을 개발하기위한 분석 알고리즘개발에 대한 연구이다. 일반적으로 토목구조물 계측관리의 경우 효과적인 과업수행을 위해 구조물별 관리기준치를 산정하여 계측결과와 설계시 산정한 값과의 비교분석하는 것이 일반화되어 있다. 그러나 토목계측분야에서는 계측자료와 비교할 관리기준치가 아직까지 명확하지 않은 것으로 확인되었다. 현재 사용되고 있는 관리기준치는 일본 및 미국의 자료를 그대로 인용하고 있는데 이 또한 구조물의 설계시 산정한 값이 아니라 경험적인 값을 일괄적으로 유사 구조물에 사용해야 하는 단점이 있다. 따라서 기존의 수동적인 절대관리기준의 개념이 아닌 새로운 개념의 관리기준 산정방법 및 이를 위한 분석 알고리즘의 개발이 필

요하다고 사료된다. 본 연구에서는 예측에 대한 분류(표1 참조)를 살펴보고 그 중에서도 시계열분석 중 승법분해(Multiplicative Decomposition) 방법을 다루고자 한다.

표 1. Types of Forecasts



시계열분석(Time-Series Analysis)은 과거 데이터를 추적하여 이후상황을 예측하기위한 가장 훌륭한 방법이다. 이는 과거에 발생했던 사실을 바탕으로 미래에 일어날 가능성을 예측하는 것이다. 만약 구조물의 추후 파괴가능성을 미연에 예측하고 싶다면 과거의 주기적인 데이터를 이용하여 능동적으로 예측할 수 있는 것이다. 시계열 모델에는 이동평균(Moving Averages), 이동가중평균법(Weighted Moving Averages), 지수평활법(Exponential Smoothing), 선형추세분석(Linear Trend Analysis), 계절변동분석(Seasonality Analysis) 그리고 승법분해(Multiplicative Decomposition) 등의 방법이 있으며 본 논문에서 사용한 방법은 승법분해(Multiplicative Decomposition) 방법이다.

2. 승법분해 모델 (Multiplicative Decomposition Model)

통계적 시계열 분석방법 중 가장 폭넓게 사용하는 방법이 승법분해(Multiplicative Model)로서 4가지 즉 추세변동(Trend), 계절변동(Seasonality), 순환변동(Cycles), 불규칙 변동(Random)으로 구성되어 있으며 식(1)과 같이 나타낸다.

$$Forecast = Trend \times Seasonality \times Cycles \times Random \quad (1)$$

승법분해모델(Multiplicative Decomposition Model)은 크게 2가지 성분으로 구분 할 수 있는데 계절적인 영향 요소와 추세 및 주기의 조합으로 구성된다. 불규칙변동 요소는 우연적이며 급격한 변화에 의한 비 반복적인 요인으로서 분별 할 수 있는 가능성이 없다. 다시 말하면 승법분해모델(Multiplicative

Decomposition Model)은 추세변동과 주기적인 계절변동으로 승법분해되는 분석방법이다. 추세변동분석(Trend Analysis)은 과거 측정된 데이터들로부터 추세변동을 알 수 있는 방정식이라고 할 수 있으며 추세변동분석 그래프를 통해 중장기적인 미래의 데이터를 예측할 수 있다. 이를 위해 회귀분석법(그림1 참조)을 사용하였으며 이는 회귀방정식으로 표현되며 식(2)에서 나타내었다.

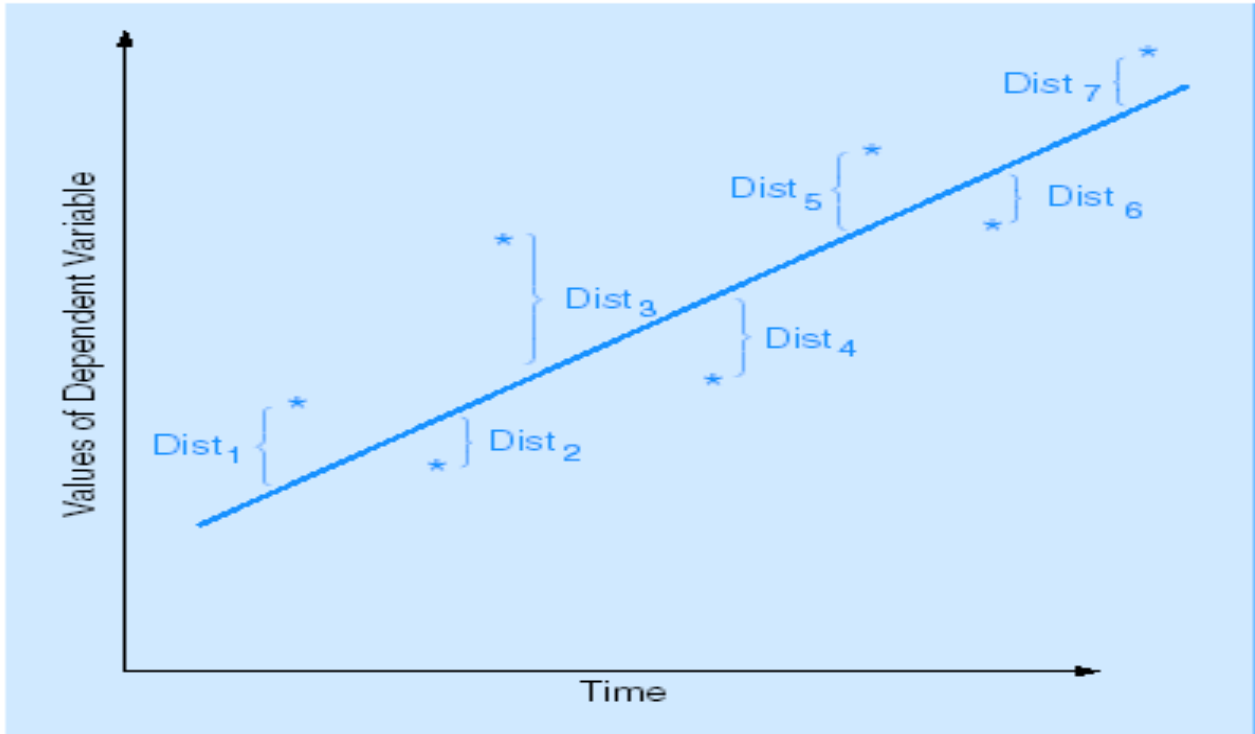


그림 1. Time- Values of Dependent Variable

$$Y = a + bX$$

$$b = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

예측된 데이터의 정확도는 실제 혹은 계측된 데이터와 예측된 데이터의 비교에 의해 결정할 수 있다. 만약 시간에 따라 예측된 값을 F_t 라고 하고 실제 값을 A_t 라 하면 예측에러(Forecast error)는 식(3)과 같이 정의 된다.

$$\text{Forecast Error} = A_t - F_t \quad (3)$$

3. 데이터 분석(Data Analysis)

본 장에서 분석한 데이터는 수리시설물에서 원격 측정된 데이터를 실시간 처리하고 사전에 위험경보 등의 정보를 알리기 위한 목적으로서 현 시점기준으로 이론적인 내용을 분석하고 그 적용성을 파악하는 것이 중요한 관건으로 사료되어 데이터는 D현장(충청도 지역)의 실 계측 변위데이터를 적용하였다. 측정된 전체 데이터는 20주기(1P=Quarter)로 나누었으며 표2 는 입력 값(Input data) 과 계절변동분석(Seasonality Analysis)이며 표3 은 예측에러분석(Forecast Error Analysis)을 수행한 결과를 나타낸다.

표 2. Input Data 와 Seasonality Analysis

Input Data			Seasonality Analysis			
Period (4Seasons)	Actual Value(Y)	Time Period(X)	Centered average	Seasonal ratio	Seasonal index	Unseasonalized value
Quarter1	-1.76	1			0.894	-1.970
Quarter2	-1.46	2			0.943	-1.548
Quarter3	-0.82	3	-0.438	1.874	1.287	-0.637
Quarter4	0.66	4	0.346	1.906	1.198	0.551
Quarter5	1.5	5	1.529	0.981	0.894	1.679
Quarter6	1.55	6	2.735	0.567	0.943	1.644
Quarter7	5.63	7	3.394	1.659	1.287	4.376
Quarter8	3.86	8	3.776	1.022	1.198	3.222
Quarter9	3.57	9	3.341	1.068	0.894	3.995
Quarter10	2.54	10	2.610	0.973	0.943	2.693
Quarter11	1.16	11	2.298	0.505	1.287	0.902
Quarter12	2.48	12	2.888	0.859	1.198	2.070
Quarter13	2.45	13	4.559	0.537	0.894	2.742
Quarter14	8.38	14	6.281	1.334	0.943	8.886
Quarter15	8.69	15	7.844	1.108	1.287	6.755
Quarter16	8.73	16	8.689	1.005	1.198	7.287
Quarter17	8.7	17	8.813	0.987	0.894	9.736
Quarter18	8.89	18	9.898	0.898	0.943	9.427
Quarter19	9.17	19			1.287	7.128
Quarter20	16.93	20			1.198	14.132

표 3. Forecast Error Analysis

Forecast Error Analysis					
Unseasonalized Forecast	Seasonalized Forecast	Error	Absolute Error	Squared Error	Squared %Error
-1.94	-1.73	-0.026	0.026	0.001	-1.50%
-1.30	-1.22	-0.235	0.235	0.055	-16.12%
-0.66	-0.85	0.025	0.025	0.001	-3.11%
-0.02	-0.02	0.679	0.679	0.461	102.86%
0.63	0.56	0.941	0.941	0.885	62.73%
1.27	1.19	0.355	0.355	0.126	22.91%
1.91	2.46	3.175	3.175	10.079	56.39%
2.55	3.05	0.805	0.805	0.648	20.86%
3.19	2.85	0.718	0.718	0.516	20.12%
3.83	3.61	-1.075	1.075	1.155	42.30%
4.47	5.76	-4.596	4.596	21.123	396.21%
5.12	6.13	-3.648	3.648	13.311	147.11%
5.76	5.14	-2.694	2.694	7.260	109.97%
6.40	6.03	2.346	2.346	5.503	27.99%
7.04	9.06	-0.367	0.367	0.135	4.22%
7.68	9.20	-0.472	0.472	0.223	5.41%
8.32	7.44	1.263	1.263	1.595	14.52%
8.96	8.45	0.436	0.436	0.190	4.91%
9.61	12.36	-3.188	3.188	10.160	34.76%
10.25	12.28	4.654	4.654	21.663	27.49%
Average			1.585	4.754	54.000%
			MAD	MSE	MAPE

표4는 본 과거의 데이터를 이용해 미래를 예측하는 방법을 설명하였으며 21~24주기의 미래예측데이

터를 산정하여 예측한 것이다. 그림2는 현재부터 이전의 20주기까지의 데이터를 이용하여 이후 예측값 (21~24주기)을 산정하여 향후 현장의 데이터를 예측한 결과이다. D현장의 경우 예측에러분석에서 MAD=1.585, MSE=4.754로서 실제값과 예측값의 차이가 거의 없지만 MAPE=54%로서 우연적이고 비예측적인 요인 (붕괴요인 등)의 영향이 다소 존재할 가능성이 있는 것으로 가정 할 수 있고 실제 D현장은 위험한 사면으로서 계측기간 중 붕괴이력을 가지고 있다.

표 4. Forecasts For Future Periods

Period	Unseasonalized Forecast	Seasonal Index	Seasonalized Forecast
Quarter21	10.89	0.894	9.730
Quarter22	11.53	0.943	10.873
Quarter23	12.17	1.287	15.658
Quarter24	12.81	1.198	15.349

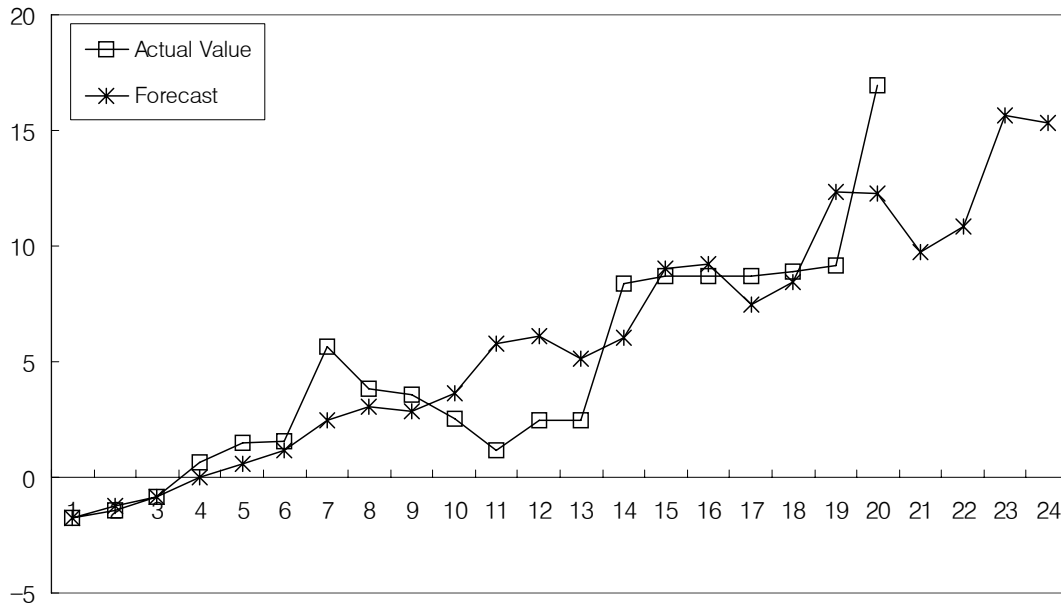


그림 2. Forecasts for Future Periods

4. 하천제방 안전관리 프로그램 개발

4.1 데이터 설계

제방 붕괴 예측 프로그램 개발은 크게 제방 데이터, 관측 정보, 분석 알고리즘 세 가지 종류의 데이터 그룹으로 구성된다. 이 중 제방의 경우는 제방설계 제원 또는 현장에서 관측한 사면기울기, 호안정보, 토질정보를 모두 관리할 수 있도록 설계되어야 하였으며, 관측정보는 관측 기준점(Reference Point)으로부터 설치된 센서의 상대거리, 센서의 각도, 센서의 시그널 등을 관리하수 있게 설계되어야 하였다. 마지막으로 이러한 제방 데이터와 관측 정보를 모두 종합하여 분석하는 분석 알고리즘 단계는 알고리즘 고유의 속성과 특성을 고려하여 개별적으로 그 특성에 맞게 설계하였다(그림3 참조).

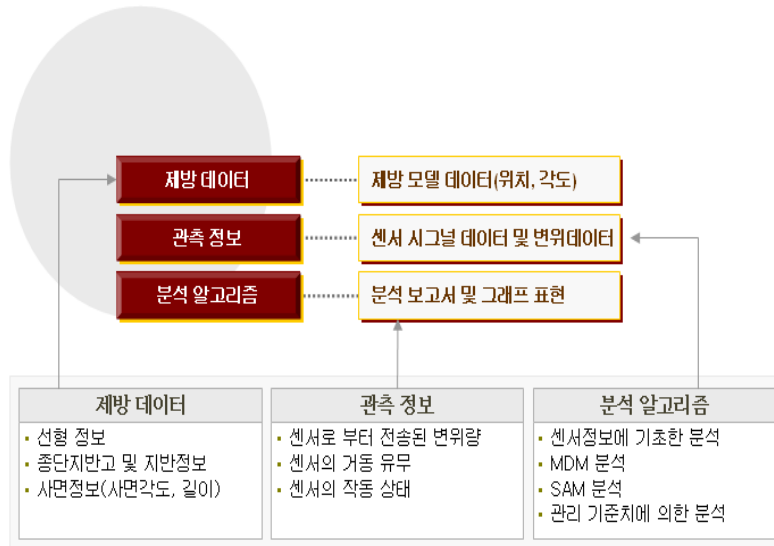
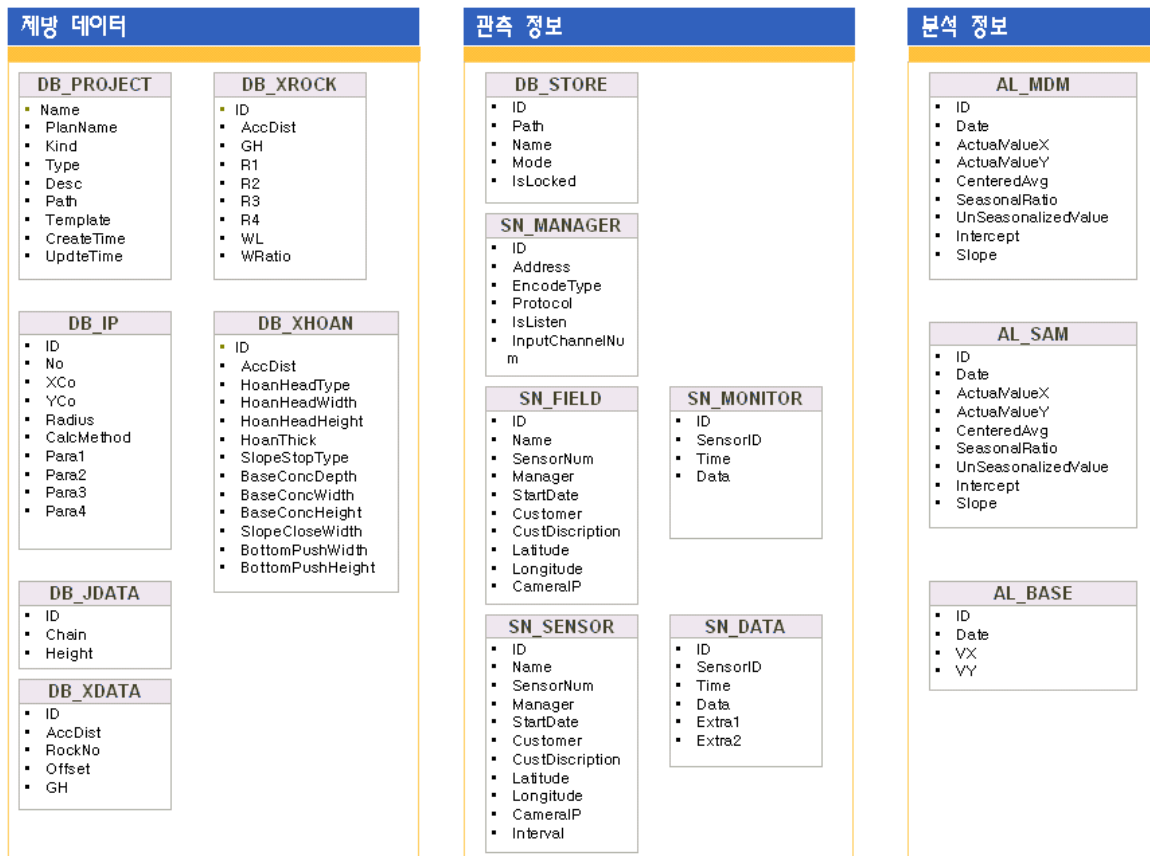


그림 3. 제방 시설물 핵심 데이터

4.2 전체 클래스 리스트

제방 붕괴 예측을 위한 데이터 구성도(표5 참조)는 크게 제방 데이터, 관측 정보, 분석 알고리즘 세 가지 그룹으로 구성되었다. 각각의 그룹에 속한 클래스들은 제방 붕괴 예측 과정에서 필요한 정보를 관리하게 된다.

표 5. 전체 데이터 클래스 구성도



이러한 데이터 구성은 단순한 제방의 관측뿐만 아니라 다양한 실시간 분석 작업을 진행 할 수 있는 통합된 구성 체계로써, 정보의 분류와 연계성을 고려한 효율적인 구성체계이다. 또한, 관리해야 할 데이터와 분석 알고리즘을 분리하여 향후 분석 알고리즘을 추가하려 할 경우 기존 구축된 정보체계의 변경을 최소화 할 수 있도록 분석 알고리즘 단계를 분리하여 설계하였다. 때문에 향후 알고리즘의 추가와 확장시 큰 어려움 없이 변경이 가능할 것이라 생각된다.

4.3 BlueRTM ver.1.0

본 연구에서 개발되는 사면 붕괴예측 프로그램의 이름을 BlueRTM (RTM : Real Time Monitoring)이라 명명하였다. BlueRTM은 사용자의 활용방안에 따라 분석단계에서 제방의 붕괴 예측 및 평가 그리고 사면 안전 기준치에 의한 관리단계까지 그 사용범위가 다양하게 활용될 수 있다. 앞의 설계단계에서 설명하고 있는 데이터 모델을 이용하여 Web기반으로 제방 정보를 제공 받을 수 있도록 시스템 설계를 진행하였다. BlueRTM은 CAD와 유사한 형상 모델을 제공하고 있기 때문에 단순 수치적인 판별 뿐만 아니라 시각적인 비주얼한 변위량 표현과 이를 분석하여 산출한 예측 데이터 표현이 가능하다. 이러한 비주얼한 표현을 위하여 OpenGL 2.0^①기반의 인터페이스를 기반으로 채택하였으며, 분석결과의 표현을 위해서 전문 Graph표현 Component를 포함하여 개발되도록 설계 하였다.

BlueRTM이 분석 및 예측을 수행하는 일련의 과정은 반복적인 통계 알고리즘을 사용하게 되므로 이를 빠르게 수행 할 수 있도록 Matrix연산 클래스와 선형 클래스를 구축하였으며, 이를 기반으로 대용량 계산을 보다 효과적으로 빠르게 산출할 수 있을 것으로 기대한다(그림4참조).

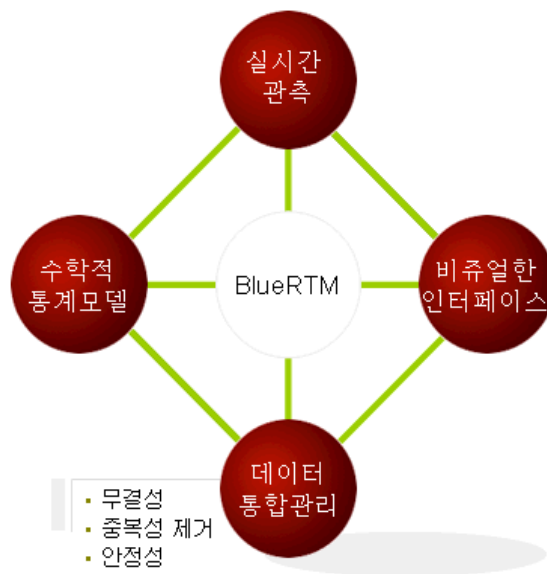


그림 4. BlueRTM 개발 개념도

4.4 전체 화면 구성도

아래 그림5는 BlueRTM 전체 화면 구성 개념도이다. 크게 상태의 메뉴바, 툴바, 프로젝트 트리바, 센서 관리자, 메인뷰, 속성장 및 안전 관리 기준치 관리자 등으로 구성되어 있다. BlueRTM의 메인뷰 구성을 위 그림6과 같이 설계하였다. 상단에는 제방의 선형과 ISO-View를 제공하고 각각의 센서에서 전달되어지는 변위량을 하단의 스프레드를 통해서 볼 수 있게 계획하였다.

1) SGI(Silicon Graphic Inc)^①의 등록상표임

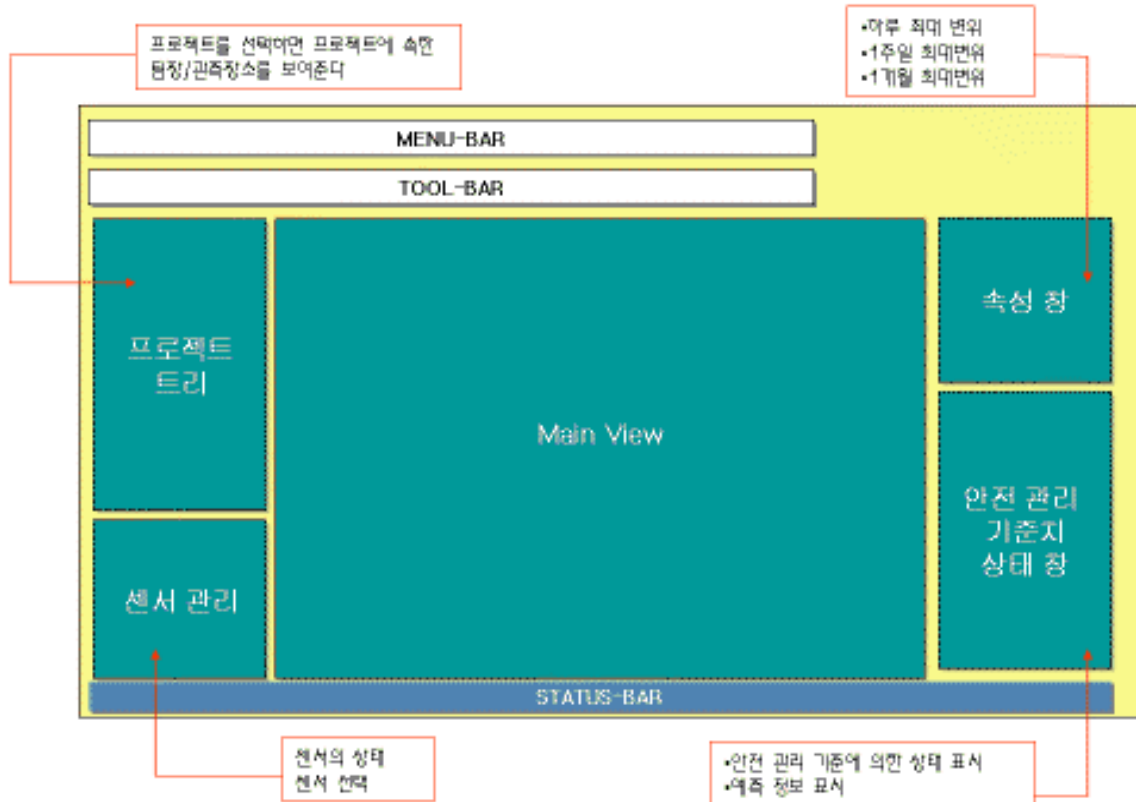


그림 5. BlueRTM 메인 프레임워크 (개념도)

Data			
SensorID	Time	Data	Displacement
1	12	12.2	0.2
2	13	12.1	0.1
3	14	12.5	0.4
4	15	12.3	0.2

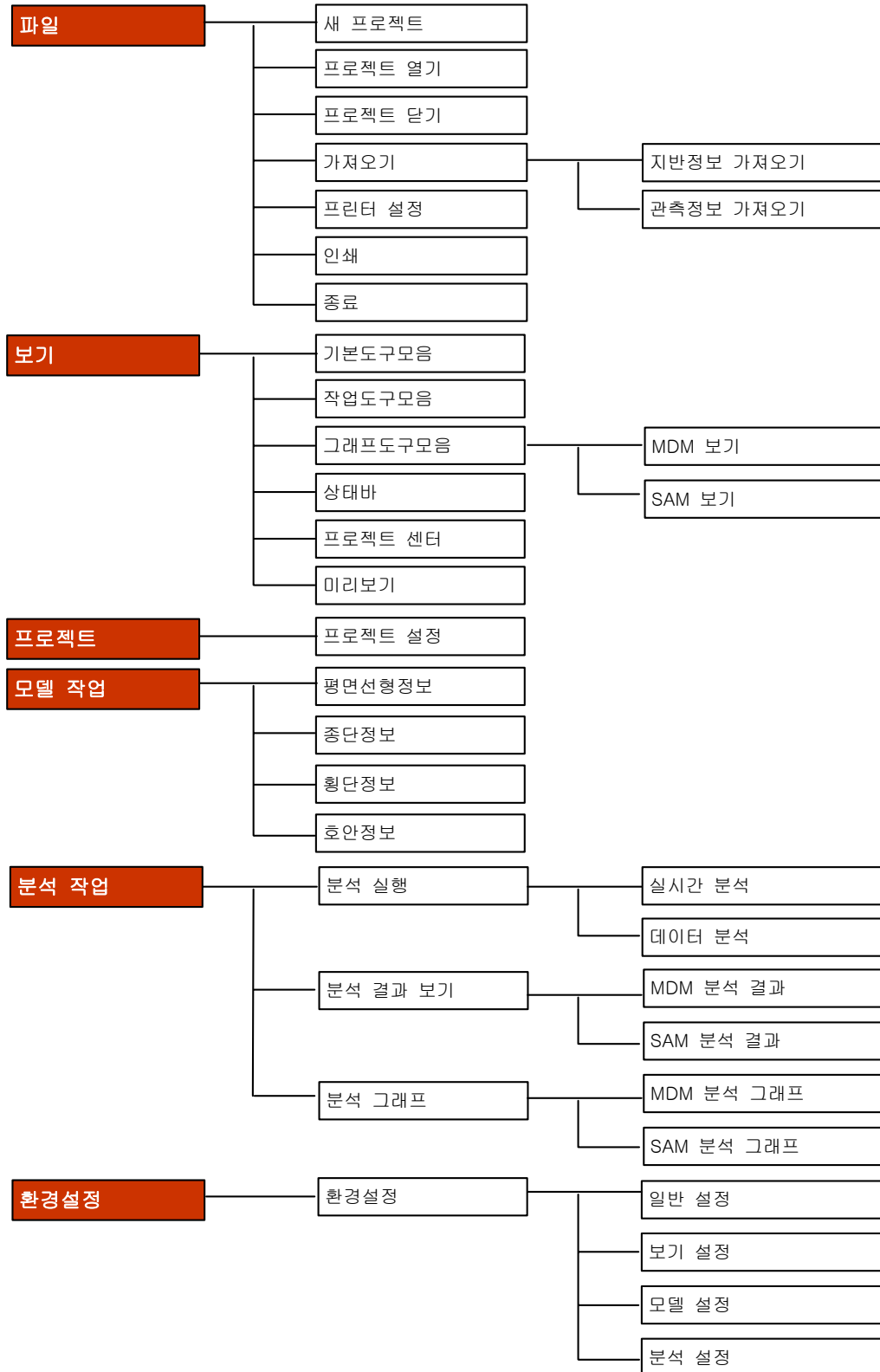
선형 제원 및 구조물 Polyline정보

그림 6. BlueRTM 메인 뷰

4.5 메뉴 구성 체계

제방시설물 유지관리 예측 프로그램 BlueRTM의 전체 메뉴 구성을 다음 표6과 같이 구성하였다.

표 6. BlueRTM의 전체 메뉴 구성



4.6 입력 인터페이스

입력 인터페이스는 크게 제방 붕괴 예측에 필요한 제방 제원데이터와 제체의 변위 데이터 두 가지 입력 체계로 나누어 설계되었다. 제방 제원데이터는 선형, 제방 지반고, 제방 야장, 호안정보 등으로 구성되며, 제방제체의 변위 데이터는 각각의 센서별로 측정된 시간에 따른 변위량을 CSV 또는 TXT파일로 받아들일 수 있게 구성하였다(그림7 참조).

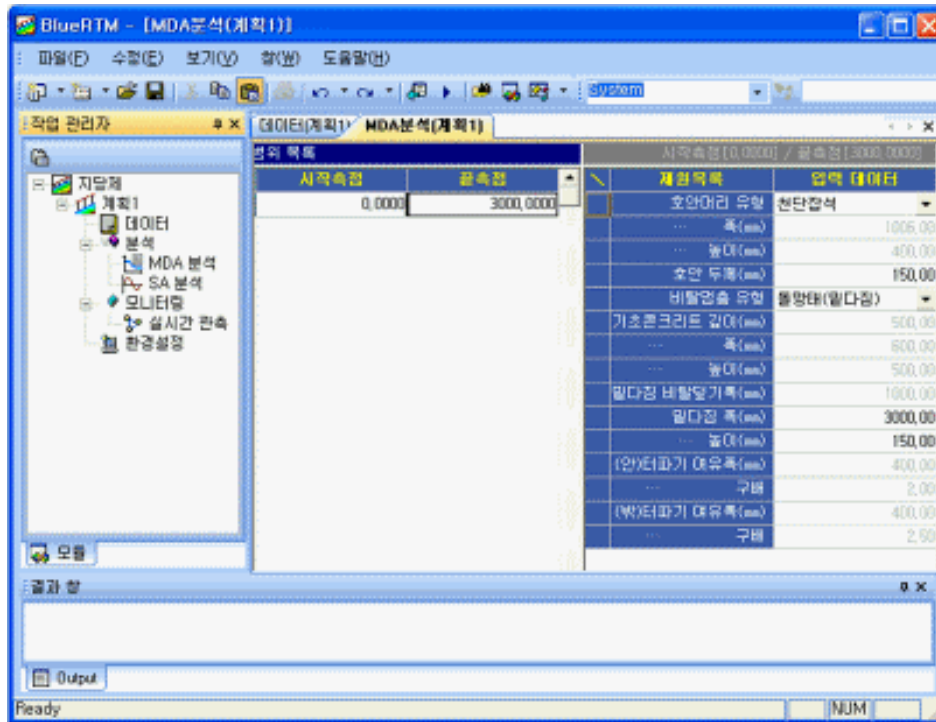


그림 7. 호안 입력 인터페이스

4.7 분석 인터페이스 설계

분석 단계는 크게 분석을 수행하는 알고리즘선택 단계와 분석된 결과를 표현하는 분석보고서 단계로 나누어진다. 분석 옵션은 실시간으로 분석 결과를 받아 동적인 분석을 수행하는 것과 입력된 데이터를 기반으로 오프라인 상태에서 분석 수행하는 두 가지 모드를 제공하도록 설계되었다. 분석 기법 항목은 분석에 사용될 알고리즘을 선택하는 단계로써 기본적으로 MDM, SAM 알고리즘을 제공하고 있으며, 사용자가 분석하려고 하는 알고리즘을 복수개 선택하는 것도 가능하도록 설계하였다. 센서의 종류 및 규격 항목은 관측 장소에 설치된 센서의 개수와 센서의 규격정보를 알려주는 부분으로 현재 관측중인 현장에 가설된 센서의 전체적인 정보를 사용자에게 알려주는 역할을 목적으로 설계하였다. 분석 단계의 인터페이스는 주로 데이터 보기와 그래프 보기로 구성된다. 데이터보기는 Excel과 유사한 데이터 보기 뷰를 제공하며, 시간에 따라 측정 및 분석된 데이터를 수치적으로 표현한다. 이때 시간의 경과가 오래된 데이터는 가상메모리 (Virtual Memory)에 임시로 저장하게 된다.

그래프 보기는 시간에 따라 관측지의 변위량을 보여주며, 이에 따라 앞으로의 변화 유형을 예측하여 붕괴곡선의 유추해 낸다. 그림8에서와 같이 그래프 보기는 현재의 변위와 예측값을 오버랩 하여 보여주며 만약 BlueRTM에서 예측한 붕괴 곡선과 유사하게 실제 곡선이 진행될 경우 화면에 경고 메시지를 보여주며 경고 프로세스 실행하게 된다. 실시간 분석이 아닌 DB데이터를 기초로 분석할 경우 데이터의 최소기울기 비율, 최대기울기 비율, 절편 값(Intercept) 등의 정보를 별도의 분석 결과 창으로 보여준다.

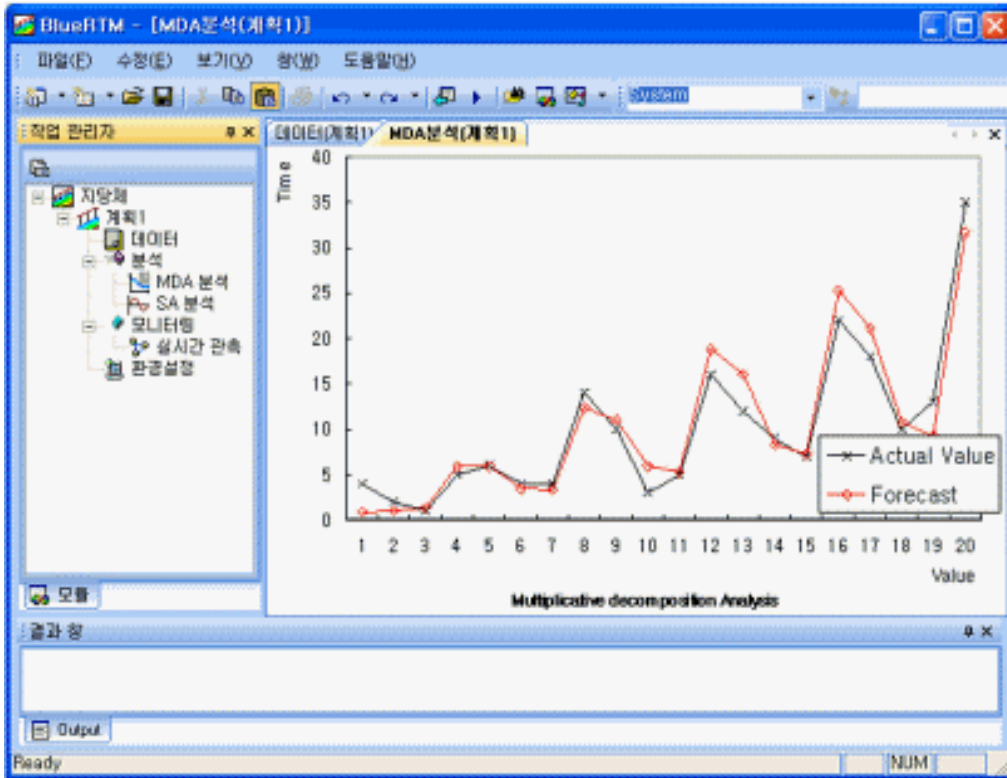
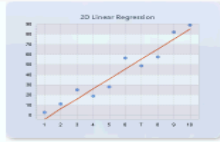
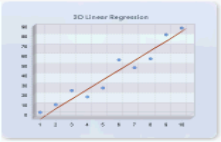

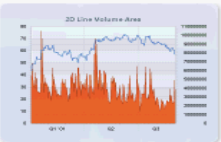
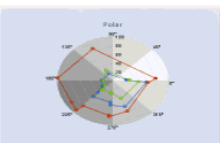
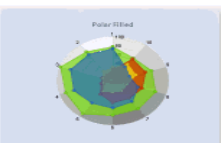


그림 8. MDM 알고리즘 분석 화면

제방 붕괴 예측의 결과 및 분석은 통계적 이론에 근간을 두고 있어 그 결과의 표현이 이루어지는 그래프 단계도 통계적 표현이 가능해야 한다. 때문에 일반적인 선형 그래프와 막대 그래프는 물론 분산형 그래프, 사분할 그래프 및 망사형 그래프 등을 지원할 수 있도록 설계하였다(표7 참조).

표 7. BlueRTM에서 사용 분야별 제공하려는 Chart 유형

Char 종류	Chart 미리보기 화면	적용분야
Scatter Gram Chart	  2D Linear Regression Chart 3D Linear Regression Chart	모니터링 단계
Flow Chart	  Candlestick Chart 2D Line-Volume Area Chart	분석단계 (MDM, SAM)
N분할 Chart	  Polar Chart Polar-Filled Chart	관리 기준치 분석/판별 단계

5. 결론

본 연구는 하천제방 시설물의 유지관리 프로그램개발을 위한 연구로서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) D현장의 경우 예측에러분석에서 $MAD=1.585$, $MSE=4.754$ 로서 실제값과 예측값의 차이가 거의 없지만 $MAPE=54\%$ 로서 우연적이고 비예측적인 요인 (붕괴요인 등)의 영향이 다소 존재할 가능성이 있는 것으로 가정 할 수 있고 실제 D현장은 위험한 사면으로서 계측기간 중 붕괴이력을 가지고 있다.

(2) 토목구조물은 비예측적인 원인별 형성인자가 너무나 다양하므로 실제 측정된 과거데이터를 이용해 미래를 예측하는 방법이 효과적인 것으로 보여지며 본 연구에서 사용한 해석 알고리즘을 이용한다면 실시간 계측된 데이터를 이용해 국가 시설물의 유지관리를 효과적으로 수행할 수 있는 가능성을 확인하였다.

(3) 제방 붕괴 예측 프로그램 개발은 크게 제방 데이터, 관측 정보, 분석 알고리즘 세 가지 종류의 데이터 그룹으로 구성하였으며 개발된 알고리즘과 프로그램을 이용한다면 하천제방시설물의 유지관리시 효과적으로 이용할 수 있는 가능성을 보여주었다.

(4) 본 연구의 성과물인 MDM 알고리즘 과 BlueRTM은 제방 뿐만 아니라 기타 토목 및 건축구조물의 안전관리를 위해 사용할 수 있도록 추후 연구되는 Test-bed현장의 데이터와 분석의 정합성을 검증할 필요가 있다.

(5) 완벽한 알고리즘 및 프로그램은 없으므로 추후 연구단계에서는 하천제방시설물을 보다 더 효과적으로 관리할 수 있도록 다양한 해석알고리즘을 개발하고 사용자 중심의 프로그램으로 개선할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 한국건설교통부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2008년 건설기술혁신사업 (과제번호: 06건설핵심B05)의 연구비지원으로 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 유병선, 박용대, 송규석, 이규식(2007) 국가 기반시설물 안전관리 프로그램개발을 위한 예측 모델에 관한 연구. 2007대한토목학회 정기학술대회 논문집, 대한토목학회, pp3452~3455
2. 유병선(2006) 실시간 사면붕괴 위험경보 체계를 위한 분석기법에 관한 연구. 박사학위논문, 금오공과대학교.
3. 문대호(2006) 하천시설물의 안전확보를 위한 개선방안. 2006년 하천시설물 안전점검 체계 구축방안에 관한 세미나 논문집, pp1-75
4. Isaac. G. (2006) Managerial decision modeling with spreadsheet, Ch11, The State University of New Jersey.