

## 실시간 공업용수 추세패턴 모형개발 및 GIS 연계방안

# A Development of Trend Analysis Models and a Process Integrating with GIS for Industrial Water Consumption Using Realtime Sensing Data

김성훈\*

Kim, Seong Hoon

### 要 旨

본 논문의 목적은 공업용수 사용 추세패턴 모형을 개발하고 개발된 모형이 GIS시스템내에서 활용될 수 있는 청사진을 제시하는데 있다. 연구내용은, 사용데이터의 수집을 위해 실시간 모니터링 테크닉이 도입되었고 실시간 데이터는 5분단위로 센서 및 현장서버로부터 관리서버로 전송되었다. 취득된 데이터는 선택된 다항식에 대입되었고 결과로 요일별, 각 월의 일평균 수요모형들이 개발되었다. 도출된 모형들은 일련의 검증과정을 거쳐 최종 모형으로 압축선택되며 평균모형으로 변환되었다. 변환된 평균모형의 도식화를 통해 공업용수 수요패턴분석이 이루어졌다. 연구결과로, 수요패턴은 상당한 일관성을 보이고 있어 확률높은 요일별, 또는 계절별 수요예측이 가능하다는 결론이 도출되었다. 또한 이러한 예측모형을 활용할 정보화도구로서 GIS의 활용방안이 제시된다.

핵심용어 : 도시용수, 공업용수, 예측행정, 모형, 추세분석, GIS, 공간분석

### Abstract

The purpose of this study is to develop a series of trend analysis models for industrial water consumption and to propose a blueprint for the integration of the developed models with GIS. For the consumption data acquisition, a real-time sensing technique was adopted. Data were transformed from the field equipments to the management server in every 5 minutes. The data acquired were substituted to a polynomial formula selected. As a result, a series of models were developed for the consumption of each day. A series of validation processes were applied to the developed models and the models were finalized. Then the finalized models were transformed to the average models representing a day's average consumption or an average daily consumption of each month. Demand pattern analyses were fulfilled through the visualization of the finally derived models. It has founded out that the demand patterns show great consistency and, therefore, it is concluded that high probability of demand forecasting for a day or for a season is available. Also proposed is the integration with GIS as an IT tool by which the developed forecasting models are utilized.

Keywords : Urban Water, Industrial Water, Forecasting Administration, Modeling, Trend Analysis, Gis, Spatial Analysis

## 1. 서 론

도시용수의 일환으로 공업용수는 산업 생산활동에서 활용되는 용수이며 생산요소로서의 역할을 통해 경제적 가치를 발생시키는 필수적인 투입요소다. 따라서 원활한 산업활동을 위해서는 공업용수 공급을 위한 투자가 효율적으로 이루어져야하며, 이와 관련된 의사결정에 있어서 공업용수의 경제적 가치에 대한 정보는 필수

적으로 요구된다(어승섭, 2010). 이렇게 도시용수 영역 중 하나인 공업용수가 차지하는 비중이 적지않음에도 불구하고 관련연구는 상대적으로 미비한 상태로 조사되었다. 공업용수는 통상적으로 간접적인 추정방법을 사용하여 장래 수요량을 예측하나, 생활용수 산정방법에 비해 정형화되지 못하였다. 각 제조 업종별 업체에서 사용하는 공업용수는 제조공정, 자동화정도, 재이용수 사용유무 등 많은 변수가 고려되어야하기 때문에 대

2011년 7월 31일 접수, 2011년 8월 29일 채택

\* 중신회원 · 남서울대학교 GIS공학과 부교수(gotit@nsu.ac.kr)

표성을 갖는 원단위 산출이 어려운 특성이 있다. 또한 정보화를 통한 체계적 공급관리부분에서도 많은 진전이 필요한 것이 현실이다. 이에 본 연구는 공업용수(분류상 도시용수의 일부로 정의함)사용 추세패턴 분석을 통한 예측모형을 개발하고 GIS기술과의 연계를 통해 공간정보데이터와 예측모형데이터 간의 연결을 시도함으로써 용수 수요공급분야에 실시간 모니터링 기술 및 GIS기술을 연계활용하는 한 활용방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

## 2. 연구방법 및 범위

### 2.1 연구동향

다양한 용수관련 수요분석 및 추정, 원단위 산정을 중심으로 진행된 국내연구는 다양한 시각을 띄고있고 용수특성에 따른 물 사용량 분석 및 추정에 관한 연구도 지속적으로 진행되고 있다. 임성진 등(2001)은 수요관리를 중심으로 수자원정책의 개선방안을 제시하였고 유명진 등(2004)은 서울시 배수지를 대상으로 선형(프리에 급수, ARIMA 결합모델) 및 비선형(Kalman Filter) 모델을 이용한 시설 운영관리에 중점을 둔 시간별 물 수요량 예측을 실시하였다. 또한 민동기(2005)는 물 수요에 미치는 영향인자를 선별하여 공업용수 수요예측모형을 개발하였고, 박영진(2009) 등은 생활용수 및 공업용수 실사용량을 조사 및 분석을 통해 용수의 합리적인 개발, 이용과 배분 등을 제시하였다. 어승섭(2010)은 우리나라의 공업용수를 대상으로 용수공급의 소비자 잉여 및 경제적 가치를 추정하였다. 또한 윤문중(2010) 등은 상수도 관망의 유수율 제고를 위하여 블록별 유량 및 압력자료를 분석하고 효율적으로 활용하기 위한 기술을 제시하였다. 국외연구 역시 관련연구의 선행이 이루어지고 있었는데 특히 南日高(2005)는 GIS를 활용한 수도정보시스템구축을 지리정보시스템(GIS)의 ‘토폴로지(Topology)’ 개념을 활용, 기존 수리모델 안에서 시설속성 데이터의 정확도 향상에 관한 연구를 실시하였다. 이러한 연구사례들의 조사결과, 각 분석대상별로 특화된 모형을 선정하고 결과 도출에 국한된 연구가 대부분이었으며 새로운 분야와의 융·복합적인 개념을 적용한 연계방안에 관한 연구가 미비한 것을 알 수 있었다. 이러한 연구사례들은 뒤 따르는 연구에 다소간의 도움을 주고 있으나 GIS 분야와 융·복합을 통한 활용증진 방안에 관한 연구의 활성화가 필요하다고 파악되었다.

### 2.2 연구방법론

실시간 공업용수 추세패턴 모형개발 및 GIS 연계방

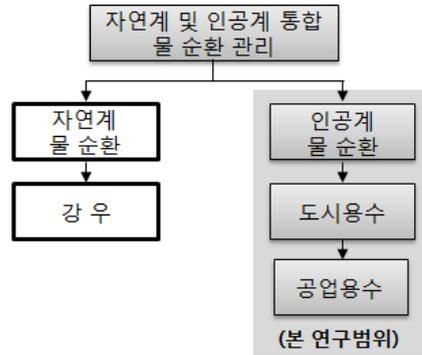


그림 1. 내용적 범위

안에 관한 연구는 그림 1의 절차를 통해 단계별로 실시하였다. 도시용수 관련 다양한 분야에서의 수요분석 및 패턴기법을 적용한 기존 연구사례를 검토하였다. 다음으로 연구범위(내용적 범위와 공간적 범위)를 설정하고 이후 절차는 추세패턴 데이터를 이용한 GIS 활용방안과 실시간 공업용수 추세패턴 모형개발의 두 부문으로 분리되어 진행된다. 다음으로 정의된 공간적 범위와 내용적 범위가 GIS에 적합한 형태로 구조화 및 구현됨으로써 최종활용을 위해 준비되어진다. 이 후 실시간 유량 데이터를 수집하고 튜닝하며 적합한 다항식을 선정하여 내용적 범위에 속하는 공업용수 데이터를 적용시켜 예측모형을 개발하고 개발된 모형의 추세패턴을 분석한다. 이렇게 분석된 데이터 및 개발된 모형은 기타 다양한 공간분석이 가능한 GIS와 연계되어 현업에서 유용하게 사용할 수 있는 정보시스템 형태의 청사진으로 제시된다.

### 2.3 연구범위

그림 2와 같이 물 순환은 크게 자연계 물 순환과 인공계 물 순환으로 분류 될 수 있는데 이 물순환의 계층적 구조 중 인공계/도시용수/공업용수를 본 연구의 범위로 설정하였다.

공업용수는 제품을 생산하는 설비의 가동, 세척, 냉동 등에 사용되는 용수와 생산활동에 참여하는 종업원 및 사무실 음료 등에 사용한 용수를 말한다.

실시간 데이터 센싱을 위한 적합성 및 장비설치 등의 원활성 관점 등을 고려하여 대전시에 위치한 유성구 테크노 벨리 일대를 그림 3과 같이 GIS S/W의 공간분석기능을 활용하여 용도필지별로 분류해 보았다. 총 412(무정값 제외)개의 전체필지를 “Unique-value”를 통해 분류해 보니 27개의 용도필지로 분류되었고, 표 1은 이를 용수관리 대상부지 관점에서 재분류한 결과를 보여준다.

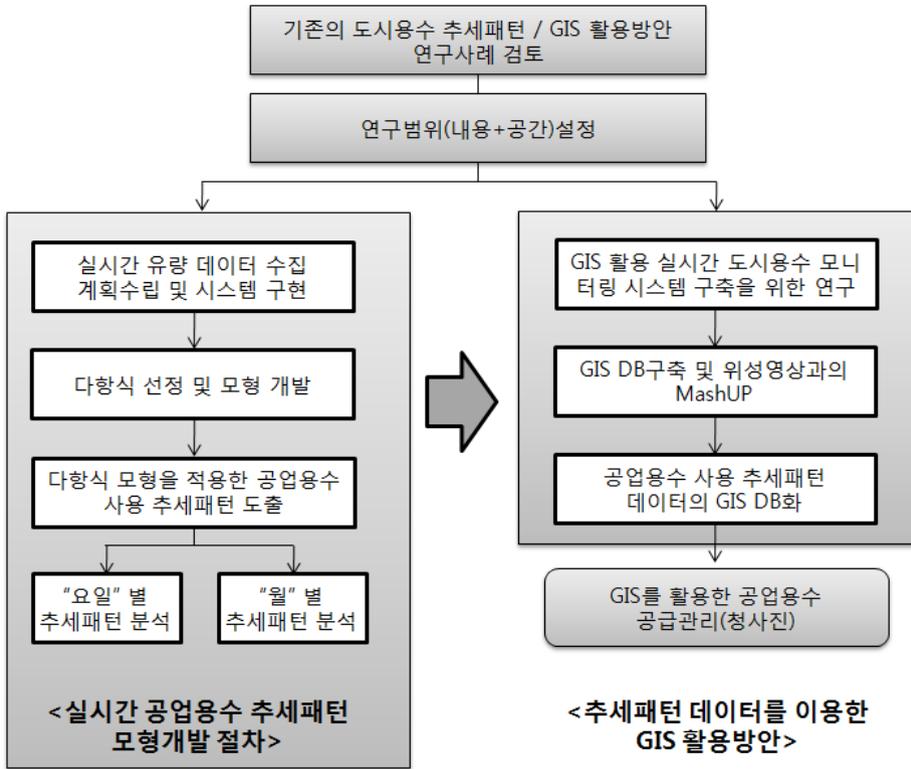


그림 2. 연구방법론



그림 3. 연구대상 지역

자료분석 결과 본 연구를 위한 분류기준에 따른 용수 관리 대상부지가 전체필지의 약 78%에 해당되고 부지 용도가 고루 분포되어 있어 연구대상 지역으로 적절하다고 판단되었다.

표 1. 대상지역 용처별 필지 현황분석

용수 관리대상 부지	필지개수(필지)	백분율(%)
가정용수부지	81	19.7
상업용수부지	17	4.1
공업용수부지	61	14.8
공공용수 부지 (교육용수 포함)	162	39.3
기타부지	91	22.1
총 합	412	100

### 3. 공업용수 수요예측모형 개발 및 추세패턴 분석

#### 3.1 실시간데이터 모니터링

공업용수의 유량측정은 그림 4와 같이 대형 수도미터 유량계(100mm)를 사용하였으며 CDMA 방식의 무선송신이 가능한 디바이스를 함께 설치하여 데이터를 현장서버로 전송한다. 이후 현장서버에서 유량계로부터 들어오는 데이터를 관리용서버 코드에 맞게 변환하여 도시용수서버로 전송한다. 관리용서버에 데이터가 수집되어 형식에 맞게 데이터가 생성되어 저장된다.



그림 4. 실시간 모니터링 방법

3.2 수요예측모형 개발

공업용수 수요예측모형을 개발하기 위해 식 (1)과 같이 일반적으로 회귀분석에서 많이 사용되는 다항식 함수를 적용하였다.

$$Q = a + bQ_t^1 + cQ_t^2 + dQ_t^3 \dots + nQ_t^{n-1} \quad (1)$$

여기서 a,와 같은 매개변수는 각항의 비중을 의미하는 상수이며  $Q_t$ 는 독립변수(시간), Q는 종속변수(유량)를 의미한다.

식(1)의 상수값들을 구하기 위해 3~15차 다항식을 대상으로 단순회귀분석(simple regression analysis)이 수행되었다. 회귀분석을 위해 사용된 데이터는 공업용수 유량센서로부터 취득한 데이터 중 물 사용패턴이 다양한 2009년 10월부터 2010년 04월까지 약 7개월간의 5분단위 데이터이다. 결과로 얻어진 각 차수의 모형에 대해 표본결정계수 등을 사용해 적합성검정을 수행하였으며 그 결과로 4차식 모형이 최종 선정되었다. 상기 모형이 독립변수에 따른 시계열적인 형태로 표현될 때 공업용수 사용 추세곡선 및 추세패턴이 도출된다.

3.3 요일별 공업용수 사용 추세패턴

공업용수의 “일”별 추세패턴을 도출하기 위한 과정으로 시간( $Q_t$ )은 24시간(오전 12:00부터 오후 11:55분까지)을 5분단위로 나누어 0~287의 범위로 수치를 환산하여 X축으로 표현하였고, 유량(Q)의 최소·최대값을 Y축으로 설정하고 표 2와 같이 각 요일별로 7개월 데이터를 변환하였다.

각 요일별, 7개월간 데이터를 활용하여 도출한 모형 개수는 30~31개이다. 그림 5, 6은 “일”별 평균사용량이 최대인 수요일과 최소인 일요일의 공업용수 사용패턴을 보여준다. 그림 5에 표현된 바와 같이 각 모형들

은 동일한 시간대에 대체로 유사한 형태의 사용 추세패턴을 보이는데, 모형의 신뢰성 확보차원에서 각 모형들의 거동평균치를 대표하는 평균모형을 요일별로 개발

표 2. “요일” 별 데이터 변환 현황

구분	모형 도출개수 (7개월기준)	시간( $Q_t$ ) 범위	유량(Q) 범위	평균사용량 ( $Q_{avg}$ )
	범례	X축	Y축	
월요일	30개	0~287	0~12100	약 180.9ℓ
화요일	30개	0~287	0~12200	약 172.7ℓ
수요일	30개	0~287	0~13300	약 190.0ℓ
목요일	31개	0~287	0~12600	약 185.1ℓ
금요일	31개	0~287	0~11000	약 151.1ℓ
토요일	30개	0~287	0~3000	약 36.5ℓ
일요일	30개	0~287	0~1600	약 18.4ℓ

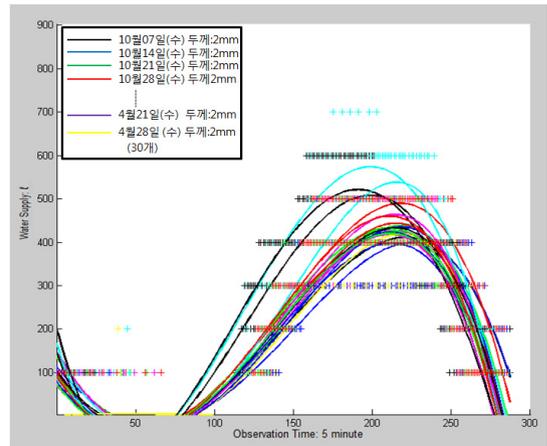


그림 5. 수요일 데이터 다항식모형

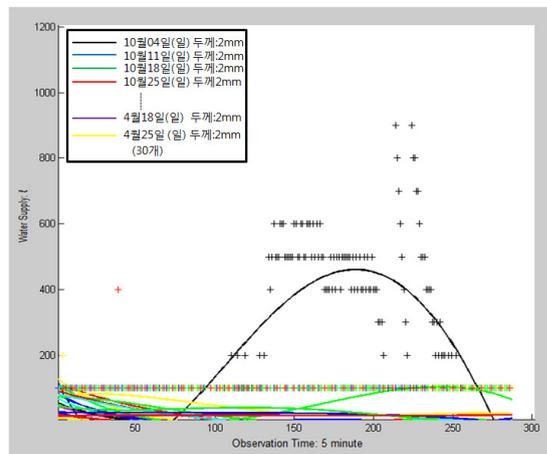


그림 6. 일요일 데이터 다항식모형

하였다(그림 7).

공업용수의 “요일” 별 평균 수요패턴은 조금씩 다른 경향을 보이고 있다. 수요일 평균 수요패턴은 12:00(AM)부터 04(AM)경까지 감소하다 이후 06(AM)경부터 사용량이 증가하여 18(PM)경까지 최대사용량 약 440ℓ를 정점으로 다시 감소하는 패턴을 보이고 있다. 월요일, 화요일, 목요일, 은 최대사용량 수치가 약 10~15%의 편차를 보이는 것 이외에 추세패턴 자체는 수요일과 거의 비슷하다. 또한 금요일도 06(AM)경을 기점으로 상승패턴을 보이다가 18(PM)경까지 최대사용량 약 340ℓ를 정점으로 다시 감소하는 패턴을 보이고 있다. 이처럼 주중의 수요 패턴은 최대사용량에서 차이점을 보이고 있지만 수요패턴은 거의 일정한 결과를 보였다. 이와 다르게 토요일은 08(AM)경부터 증가하여 18(PM)경까지 최대사용량 약 80ℓ를 정점으로 다시 감소하는 패턴을 보이고 있다. 또한 일요일은 사용량이 감소하여 최대사용량이 약 30ℓ고 평균사용량은 약 18ℓ로 주중보다 확연히 감소한 결과를 보인다. 상기 분석된 바와 같이 주중과 주말 물 사용 소비패턴의 차이가 명확히 드러나는 결과를 보여주고 있으며 필요시 요일별 모델이 아닌 주중모델, 주말모델의 간략화된 사용가능성을 발견할 수 있다.

### 3.4 월별 공업용수 일사용 추세패턴

공업용수의 “월”별 일사용 추세패턴을 도출하기 위

한 과정으로 시간( $Q_t$ )는 24시간(오전 12:00부터 오후 11:55분까지)을 5분단위로 나누어 0~287의 범위로 수치를 환산하여 X축으로 표현하였고, 유량( $Q$ )의 최소·최대값을 Y축으로 설정하여 표 3과 같이 각 “월” 별로 데이터를 변환하였다.

“월”별 데이터 변환결과를 기반으로 그림 8과 같이 7개월간 데이터를 활용하여 “월”별 공업용수 일사용패턴을 분석해 보았다.

“월”별 일사용량 추세패턴은 각 월마다 예외없이 동일한 패턴을 보인다. 12:00(AM) 최초 소비량이 약 70~150ℓ를 시작으로 04(AM)경까지 감소하다 18(PM)경까지 증가하고 이후 감소하는 패턴을 보이고 있다. 다만 최대 일사용량과 최소 일사용량 수치에 차이가 있

표 3. “월”별 데이터 변환 현황

구분	모형 도출개수 (7개월기준)	시간( $Q_t$ ) 범위	유량( $Q$ ) 범위	평균사용량 ( $Q_{avg}$ )
	범례	X축	Y축	-
2009.10월	1개	0~287	0~10000	약 132.4ℓ
2009.11월	1개	0~287	0~8600	약 121.1ℓ
2009.12월	1개	0~287	0~10100	약 128.8ℓ
2010.01월	1개	0~287	0~9400	약 126.9ℓ
2010.02월	1개	0~287	0~8200	약 129.3ℓ
2010.03월	1개	0~287	0~10400	약140.8ℓ
2010.04월	1개	0~287	0~8700	약 147.5ℓ

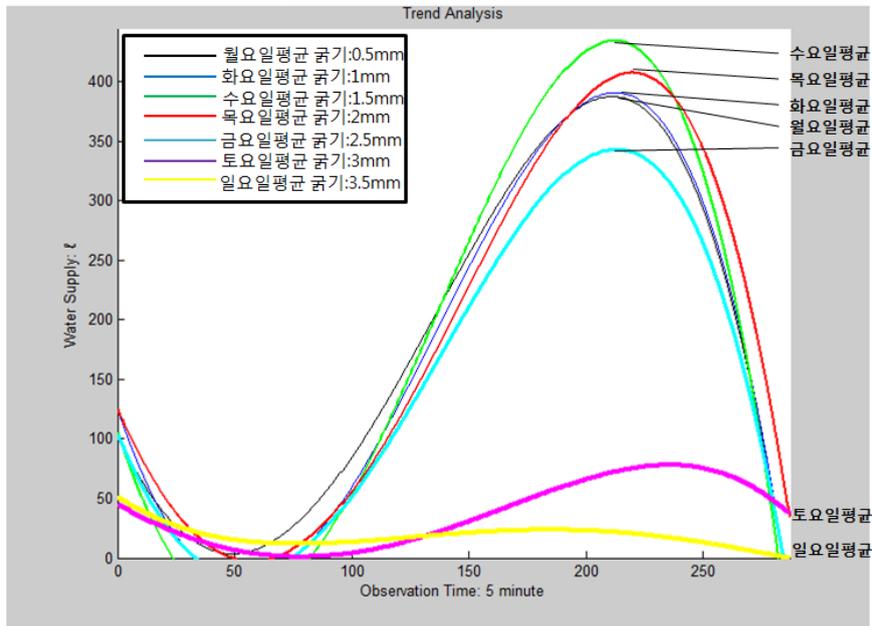


그림 7. “요일”별 공업용수 일평균 사용패턴 모형

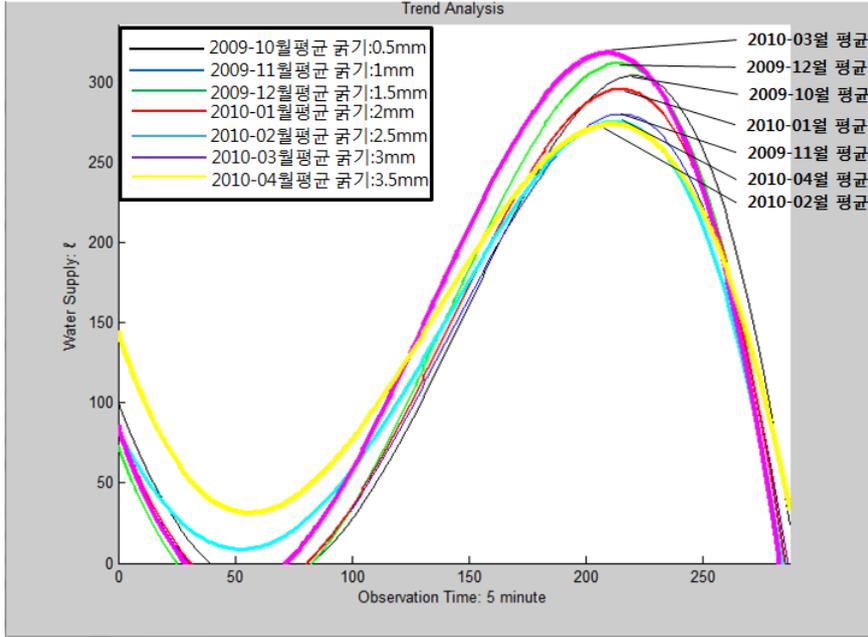


그림 8. “월”별 공업용수 일평균 사용패턴 모형

을뿐이며 최대 일사용량의 발생시간이 약 2시간이내의 편차가 있는 것으로 나타난다. 최대 일사용량은 280~310ℓ로 약 10% 이내의 차이를 보이며 예측행정을 위한 일반화의 용이성을 보여주고 있어 매우 고무적이다. 각 “월” 별 일평균 물 사용량은 그래프의 최대·최소값의 평균으로 표 3에 표현된다. 평균 사용량을 계절에 따른 차이로 분석할 경우 (3,4,5월은 봄, 6,7,8월은 여름, 9, 10,11월은 가을, 12,1,2월은 겨울로 분류함) 1년 중 가을과 겨울은 사용량이 감소하고 봄에는 평균사용량이 증가하는 경향을 보인다.

4. 공업용수 추세패턴 모형의 GIS 연계방안

4.1 GIS를 활용한 상·하수 관망 데이터 구축 모델  
GIS 관망 데이터 구축 모델은 CAD 파일로 작성된 관망도면을 주로 활용하는데 각 관로 및 시설물 데이터베이스를 작성하기 위하여 GIS 소프트웨어의 응용기능을 활용한다. 이를 통해 관경 변화점, 분기점에 대하여 노드(Node)점을 추출하고 이들 노드 사이의 관로에 대한 관경, 관 길이 등의 데이터베이스를 구축한다. 그림 9는 GIS관망 데이터 구축 모델을 표현한다. CAD파일 형태의 상·하수 관망도로부터 관망 레이어와 등고 및 표고 레이어, 동경계 레이어 등을 추출하여 GIS DB로 변환한다. 관로 및 노드 등 위상생성 과정을 거친 후 공

간 데이터와 속성데이터의 연결을 실시하여 GIS DB를 생성한다. 생성된 데이터베이스는 일련의 보정과정을 거친 후 활용된다.

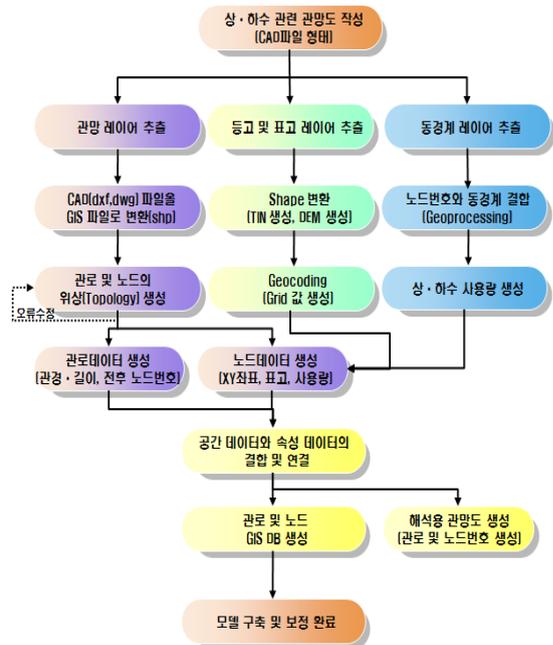


그림 9. 상·하수 GIS관망 데이터 구축 모델

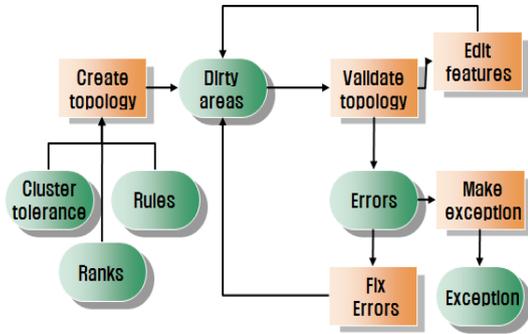


그림 10. 위상생성 흐름도

#### 4.2 관로 및 노드의 위상(Topology) 생성

위상이 생성된 각 대상들의 각 좌표들은 위상구조를 형성하게 된다. 이는 많은 오류를 포함하고 있어 수정 절차를 거쳐야 하며 일반적으로 위상생성 → 오류확인 → 오류수정 → 데이터베이스 재구축 등의 단계를 거치는데 그림 10은 위상생성 작업절차를 세부적으로 표현하고 있다.

GIS 소프트웨어를 이용한 위상생성 과정 중에는 각 단계별 프로세스마다 객체의 추가가 가능한데 이는 새로운 객체가 위상상의 오류를 포함한 상태에서도 추가될 수 있다. ‘Dirty areas’는 기존의 오류 또는 발견되지 않은 위상 오류를 포함하기 때문에 생성된다. ‘Dirty areas’는 공간적 관계를 가진 데이터의 영역 중 위상 유효성 적용 과정이 최적화가 가능한 영역으로 제한시킨다(ESRI, 2004). 이는 편집 후 전 영역의 데이터에 대한 위상규칙을 적용하기보다 선택된 부분에 대해서만 적용하여 위상상의 오류를 수정할 수 있도록 한다.

#### 4.3 GIS 연계

GIS(지리정보시스템)는 다양한 공간정보기반 분석이 가능하므로 현재 토지관련, 시설물관리관련, 교통관련 분야 등에서 그 활용도가 갈수록 증대되어가고 있는 추세이다. 따라서 본 연구와 같은 일정구역 전체를 대상으로 한 계획 및 관리, 그 내부 대상물(지역)의 상대비교 판단 및 분석에 매우 요긴한 요소기술이며 GIS분야의 공간분석기술 및 모니터링분야의 실시간무선센싱기술과의 융·복합을 통해 용수 수요공급 계획 및 관리 효율화에 주요한 역할을 담당할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발된 공업용수 수요예측 모형과 GIS의 연계활용 방식은 그림 11로 간략히 표현된다. 개발된 공업용수 수요예측 모형식은 GIS 내 관련프로그램 모듈의 일부로 삽입된다. 삽입된 모형식은 전체 GIS시

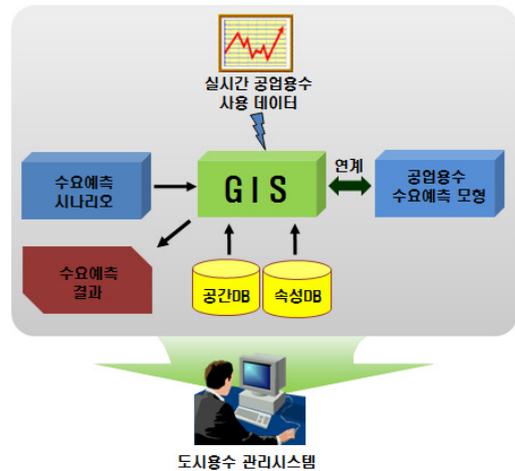


그림 11. 용수모니터링기술과 GIS의 연계활용 구조도

스템기능의 일부로 작동되며, 사용자의 수요예측시나리오에 따라 일련의 조건검색을 충족하는 결과를 GIS 인터페이스를 통해 사용자에게 되돌려준다. 이때 사용자가 원하는 시나리오는 수요예측 목적, 관심지역범위, 관심기간, 용수수요자 관련 정보 등을 포함하므로 상기 항목들에 관련된 인자들을 포함하는 질의기능을 구현하고 결과를 도시하기위해 지형, 도로, 수계, 상·하수관로, 용수사용처, 등에 대한 공간 및 속성정보 DB 또한 시스템의 일부로 작동한다. 실시간 공업용수 사용 데이터는 센서, 현장서버를 거쳐 지속적으로 관리서버로 전송되며, 수요예측시나리오의 일부모듈로 작동하는 것이 아니라 현황모니터링/조회 및 모형 적합성의 지속적 업그레이드를 위해 필요하다.

그림 12는 GIS 청사진으로 공업용수 추세패턴 데이터를 공간정보 데이터로 변환하여 적용한 시스템 인터페이스 예이다. 기본 배경화면은 연구범위인 관평천 일대의 지형도와 위성사진의 MashUP을 통해 표현된다. 공업용수 센서로부터 데이터가 전송되어 중앙서버로 데이터가 수집되고 통합된 데이터베이스가 구축되며 이 데이터베이스의 실시간 용수사용정보를 추세선, 텍스트 등의 다양한 그래픽 형태로 표현할 수 있다. 제시된 방법론 및 시나리오는 비단 본 연구의 주제인 공업용수뿐만 아니라 가정용수, 공공용수, 상업용수 등 다른 분류의 용수 공급관리 효율성 증진을 위해서도 동일하게 활용될 수 있다.

### 5. 결론

본 연구는 실시간 모니터링된 도시용수 데이터를 기

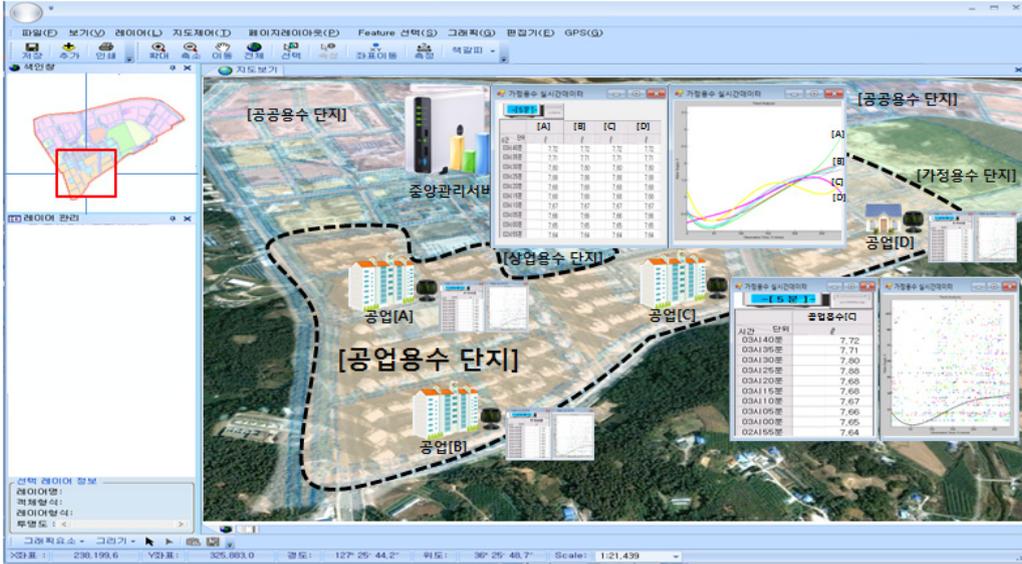


그림 12. 공업용수 사용 추세패턴 모형을 적용한 GIS 청사진

반으로, 도시용수 중 공업용수를 범위로 설정하고 다항식 모형을 개발하여 도출된 추세패턴을 “요일”별 데이터에서는 주중과 주말의 분류로 분석 하였고 “월”별 데이터에서는 계절별 분류로 분석 하였다. 이후 이러한 공업용수 사용 예측기법을 적용한 GIS활용방안을 제시 하였다.

개발된 모형을 사용한 추세패턴분석결과, 공업용수의 경우, 주중과 주말 물 사용 소비패턴의 차이가 명확하며 필요시 요일별 모델이 아닌 주중모델, 주말모델의 간략화된 사용가능성을 발견할 수 있었다. 또한 최대 일평균사용량은 월별로 약 10% 이내의 차이를 보이고 있어 예측행정을 위한 일반화의 가능성이 확인되었다.

현 연구결과의 신뢰도개선을 위해 가장 필요한 향후 연구활동은 실시간 센서 표본수 증가에 의한 모델 정확도 향상이고, GIS를 활용한 다양한 기능보완과 함께 물 사용 예측행정을 위한 종합적이고 효과적인 정보화도구 개발과의 연계 또한 필요한 부분으로 판단된다. 본 연구는 융·복합 대상으로 Real time remote sensing 과 GIS의 두 기술군을 선택하여 적용해보았으나 향후 자동제어 기술군 등과의 좀 더 광범위한 융·복합 또한 남아있는 연구분야이다.

### 감사의 글

본 연구는 남서울대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 민동기, 2005, “공업용수 수요량 추정과 가격현실화 정책효과분석”, *자원·환경경제연구*, 한국환경경제학회·한국자원경제학회 제14권 2호, pp.475-491.
2. 박영진, 조진규, 2009, “유역별 상수도 이용량 분석에 관한 연구”, *환경관리학회지*, 한국환경관리학회, 제 15권 3호, pp.127-135.
3. 어승섭, 유승훈, 2010, “공업용수의 소비자 잉여와 경제적 가치 추정”, *국토연구*, 국토연구원, 제65권, pp.151-162.
4. 유명진, 구자용, 구원희, 김신걸, 2004, “선형 및 비선형 모델을 이용한 시간별 물수요량의 예측”, *대한환경공학회지*, 대한환경공학회, 제26권 3호, pp.277-283.
5. 윤문중, 이창구, 2010, “상수도 관망의 유수율 향상을 위한 블록감시제어시스템 구축 및 활용에 관한 연구”, *한국산학기술학회논문지*, 한국산학기술학회, 제11 권 8호, pp.2989-2998.
6. 임성진, 2001, “수요관리 측면에서 본 우리나라 수자원 정책의 개선방안”, *한국정치학회보*, 한국정치학회 제 35집 3호, pp.237-259.
7. ESRI, 2004, *Introduction to Arc GIS(II)*, 한국 ESRI 교육센터.
8. 南日高, 2005, “GIS를活用した水道情報システムの構築と運用事例,” *Journal JSWA*, VOL.74, No.11, pp.1-9.