

상수도 관망해석 컴포넌트 설계에 관한 연구

A Study on the Component Design for Water Network Analysis

김계현*, 김준철**, 박태옥***

Kyehyun Kim, Junchul Kim, Taegog Park

초 록 국가지리정보체계사업을 시작으로 여러 응용분야에서 지리정보시스템을 구축하고 있으며, 특히 지자체에서는 도시정보화 차원에서 UIS(Urban Information System: 도시정보시스템)를 구축하고 있다. 지자체의 업무들은 지자체의 상황에 따라 조금씩 차이를 보이지만 업무 단위로 따져볼 때 공통적으로 수행되는 업무들이 많으며, 지리정보 관련 업무 또한 예외가 아니다. 지금까지 각 지자체의 도시정보시스템은 공통업무에 대하여 중복개발이 불가피하였으며, 계산용성을 기대하기 어려웠다. 이런 비효율성을 극복하는 방안으로 컴포넌트 기술이 대두되었으며, 컴포넌트 기술을 이용하여 업무변화에 유연하고 재 활용을 극대화할 수 있는 업무 컴포넌트 개발이 필요하게 되었다.

본 논문은 지자체의 지리정보 관련 업무의 하나인 상수도 업무 중 상수관거의 유량 및 손실수두산정을 위한 상수도 관망해석 컴포넌트 설계를 제시하였다. 상수도 관망해석 컴포넌트는 상수도 초기유량을 산정하고, 산정된 초기유량을 토대로 절점 및 상수관거의 유량 및 손실수두를 산출하여, 상수관거 신설 및 확장에 대한 의사결정을 지원할 수 있도록 설계하였다. 컴포넌트 설계과정은 표준업무를 지원할 수 있도록 업무분석을 수행하였으며, 이의 결과물로 상수도 관망해석 알고리즘을 도출하였다. 그리고 도출된 알고리즘을 기반으로 상수도 관망해석 업무를 수행하는 상수도 관망해석 컴포넌트를 설계하고 설계 내용을 UML(Unified Modeling Language)로써 명세화하였다.

현재 설계에 따라 상수도 관망해석 컴포넌트가 개발되고 있으며, 개발된 컴포넌트를 이용한 상수도 관망해석 시스템을 구축할 예정이다. 추후에는 상수도 관망해석 컴포넌트와 상수도 업무 컴포넌트와의 통합부분에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

ABSTRACT GIS has been building for various application fields with the aids of NGIS project, especially numerous municipal governments are building a UIS in the level of local governments' informatization. Although there are some difference between municipal governments' business, still many things are in common. So far, individual municipal governments have developed a UIS for their own use, which lead to duplicated development of the UIS. The component technology has been introduced to remove such duplicated efforts and it enabled maximizing the reusability of the UIS already developed.

This paper proposes a component design for network analysis of the drinking water to calculate the amount of flow and the head loss. This component design provides the initial water amount to estimate the amount of the network flow and the head loss, thereby supports the decision making such as installation or extension of the pipe network. The process of the component design accompanies the business reengineering to support the standardized business work flow. Also, the design of the network analysis component uses the algorithms induced with UML specification.

Based on the component design, the component development has been progressing and the network analysis system would be followed. In the near future, another component to integrate the network analysis and the business related to the drinking water needs to be developed.

키워드 : UIS, Network analysis of drinking water, Component, UML

* 인하대학교 지리정보공학과 부교수

** 인하대학교 지리정보공학과 석사과정

*** 인하대학교 지리정보공학과 박사과정생

1. 서론

NGIS사업을 시작으로 지리정보시스템의 응용분야가 광범위해지고 있으며, 도시정보화 차원으로 많은 지자체에서 UIS를 구축하고 있다. 지자체의 행정업무를 전산화하는 UIS경우는 다른 지자체에서도 공통적으로 적용될 수 있는 유사업무가 많다. 이러한 업무를 각 지자체마다 개발하기보다는 새로운 소프트웨어 개발 패러다임인 컴포넌트 기술을 이용하여 재활용을 극대화하는 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 지자체 상수도 업무의 일부인 유량 및 손실수두산정을 지원하기 위한 상수도 관망해석 컴포넌트를 설계하였다. 상수도 관망해석 컴포넌트 설계를 위하여 상수도 관망해석 관련 업무분석을 수행하였고, 분석내용을 바탕으로 상수도 관망해석 알고리즘을 도출하고 설계를 수행하였다. 설계는 재사용성을 위하여 UML(Unified Modeling Language)을 이용하여 명세화하였다. 상수도 관망해석 컴포넌트는 상수도 유량 및 손실수두를 산정하며, 상수관의 신설 및 확장에 대한 의사결정의 지원이 가능하다.

2. 연구내용

연구내용은 우선 상수도 사용자가 필요로 하는 관망해석 컴포넌트를 설계하기 위하여 사용자 요구분석이 시행되었다. 아울러 상수도 관망해석을 위한 수리·수

문기술을 바탕으로 상수도유량 및 손실수두를 계산하기 위한 Hardy-Cross 방식을 적용한 상수도 관망해석 알고리즘을 정립하였다. 정립된 상수도 관망해석 알고리즘을 기반으로 상수도 관망해석 컴포넌트 설계를 수행하였으며, 설계는 크게 추상 설계와 구현 설계를 나누어 진다. 추상 설계는 UML을 활용하여 여러 다이어그램으로 도시화하였으며, 구현 설계로는 세부 클래스와 데이터베이스 명세서를 작성하였다. 구체적인 내용은 다음과 같다.

2.1 사용자 요구분석

상수도 관망해석 컴포넌트가 실업무를 정확히 지원하기 위해서는 사용자의 요구사항을 파악해야 된다. 따라서, 본 연구에서는 지방자치단체의 현행업무의 구조를 파악한 후 이를 바탕으로 개선이 필요한 항목을 설정하였다. 관망해석의 요구사항으로는 실시간에 상수관의 유량 및 손실수두의 산정을 주로 사용자가 요구하였으며, 실시간에 산정된 상수관의 유량 및 손실수두를 통하여 효과적인 의사결정지원이 가능한 시스템에 대한 요구도가 높았다. 이들 요구사항과 현업의 실태, 해결방안 등을 정리하면 표 1과 같다.

2.2 상수도 관망해석 알고리즘

본 연구에서는 GIS의 공간분석방법과 수리·수문학의 기술을 이용하여 국내에 적합한 상수도 관망해석 알고리즘을 정립하였다. 정립된 알고리즘은 크게 각 상수관에 대해 유량 및 손실수두를 산정하기 위한 알

(표 1) 상수도업무 요구분석 내역

개선필요항목	현업실태	처리 및 해결방안
○ 상수대장도 및 대장정보의 변동사항을 체계적 유지보수할 수 있는 방안 마련	○ 해당도면의 내용 및 사항이 주체별로 상이 ○ 변동사항이 제때에 갱신되지 않음	○ 시설물 데이터베이스 구축 ○ 갱신된 정보를 즉각 반영할 수 있는 조회 및 수정기능 개발
○ 효율적인 상수 공급을 위한 관망해석기능 개발	○ 상수 수용, 공급이 지역에 따라 불균형	○ 효율적인 상수 공급에 필요한 정보를 제공할 수 있는 관망해석기능 개발
○ 사고발생시 필요정보의 신속한 확보가 어렵다	○ 사고발생시 도면을 통해 정보 수집 및 경험에 의한 대처	○ 데이터베이스를 통해 사고발생시 필요정보를 신속하게 확보할 수 있는 사고관리기능 개발
○ 누수량 산정 및 누수예상관 산정	○ 계량기 검침에 누수량 측정	○ 누수예상관 산정과 누수량을 산정할 수 있는 기능 개발
○ 노후도 판정에 의한 교체우선순위 산정	○ 예산에 따른 지역별 순차적으로 결정	○ 지정인자에 의한 교체우선순위 선정기능 개발
○ 수용가 정보를 각각 도면과 대장을 별도로 관리	○ 변동사항이 따로 갱신됨	○ 수용가의 도형과 속성 정보를 통합하여 관리할 수 있는 기능 개발

고리즙이며, 그림 1은 전체적인 상수도 관망해석 알고리즘을 나타낸다.

2.2.1 상수도 관망해석을 위한 적용기술

상수도 관망해석은 우선적으로 각 관로의 평균유속을 계산하고, 손실수두를 계산한 다음 최종적으로 보정유량을 계산하게 된다. 본 연구에서는 상수도 관망해석을 위하여 국내의 관로에 적합하고 관로설계 및 제작에 일반적으로 사용되는 상수도 관망해석 기법중의 하나인 Hardy-Cross 방식을 사용하여 상수관거의 유량 및 손실수두의 산정을 위한 알고리즘을 정립하였다.

2.2.2 Hardy-Cross 방식

Hardy-Cross 방식은 각각의 루프에 걸리는 각 관의 손실수두값을 계산하고, 이를 이용하여 각 관거에 걸리는 유량을 산출한다. 이를 적용하기 위해서는 우

선적으로 아래와 같은 가정이 수반되어야 한다.

- 각 분기점(또는 합류점)에 유입되는 유량은 해당 점에 정지하지 않고 전부 유출된다.
- 흐름에 방향성을 고려하면 각 폐합관 손실수두의 합은 "0"이다.

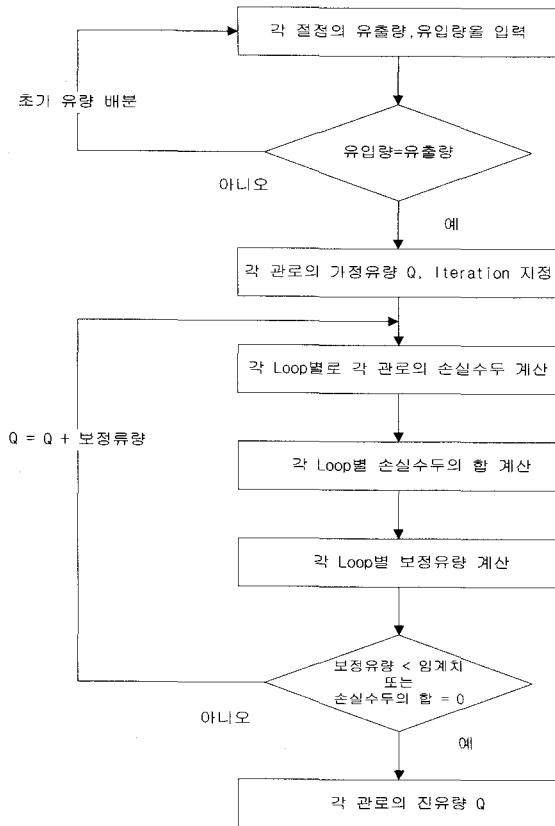
2.2.3 적용공식

Hardy-Cross 방식을 적용하기 위한 기본적인 공식은 다음과 같으며, 관망해석 계산순서의 최종목적은 각 관로의 유량과 손실수두를 알아내기 위한 것이다.

- 1) 평균유속계산 (V) : Hazen-Williams 공식 이용

$$V = 0.849 C R^{0.63} I^{0.54}$$

V : 유속(m/sec)
C : 유속계수
R : 경심(m)
R = D/4, (D : 관경)



〈그림 1〉 상수도 관망해석 알고리즘

l : 동수구배

h : 손실수두 (m)

유속계수 C는 상수관거의 관경과 년수에 따라 표 2의 값을 갖는다.

보정유량은 총 손실수두의 합인 $\sum h=0$ 이 될 때까지 계산을 반복하여 $\sum h=0$ 일 때의 유량(Q)과 손실수두(h)가 각 상수관거의 실제 유량과 손실수두이다.

〈표 2〉 Hazen-Williams 공식 중 C의 경년 변화

년수	관 경 (mm)								
	100	150	200	250	300	400	600	900	1500
0	130	130	130	130	130	130	130	130	130
10	106	108	109	110	110	111	112	112	112
20	88	92	94	96	97	98	99	99	100
30	75	80	83	85	86	87	89	90	91
40	64	71	74	76	78	79	81	83	84
50	56	63	67	69	71	73	75	76	78

2) 손실수두계산(h_L) : Darcy-Weisbach 공식 이용

$$h_L = f \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

h_L : 마찰손실수두 (m)

f : 마찰손실계수

$$f = \frac{124.5 n^5}{D^{1/3}}, \quad n : \text{Manning의 조도계수}$$

l : 관의길이(m)

D : 관경(m)

V : 유속(m/sec)

g : 중력가속도(9.8 m/sec²)

3) 보정유량계산(ΔQ) : Hardy-Cross 공식이용

$$\Delta Q = - \sum h / 1.85 \sum \frac{h}{Q}$$

Q : 유량 (l/sec)

2.3 추상 설계

상수도 관망해석 컴포넌트의 추상 설계시 UML에서 사용할 수 있는 다이어그램은 여러 가지가 있으나 가장 기본이 되고 핵심이 되는 다이어그램으로는 Use Case 다이어그램, Interaction 다이어그램, Class 다이어그램, Activity 다이어그램 등을 들 수 있다. 이러한 다이어그램들은 그림 2와 같이 모델링이 진행되었으며, 반복적인 모델링 작업으로 상수도 관망해석 컴포넌트를 설계하였다.

2.3.1 Use Case 다이어그램

Use Case 다이어그램은 Use Case와 행위자, 그들의 관계를 나타내는 그림으로 상수도 관망해석을 위한 업무와 업무를 담당하는 공무원과 이들의 관계를 도시하는 그림이다. 상수도 관망해석 Use Case는 공무원들이 실시간으로 상수 관거별 유량 및 손실수두의 파악을 원할 때 시작되는 업무이다. 관망해석 업무를 수행하기 위해서는 상수관망도, 상수관속성, 상수부속시

〈표 3〉 관의 재료에 따른 Manning의 조도계수

관재료	n (sec/m ^{1/3})	관재료	n (sec/m ^{1/3})
주철	0.011~ 0.015	주철	0.012~ 0.017
리벳강관	0.017~ 0.020	리벳강관	0.010~ 0.013
콘크리트(Precast)	0.011~ 0.015	콘크리트(Precast)	0.011~ 0.017
매끈한 시멘트면	0.010 ~ 0.013	매끈한 시멘트면	0.012~ 0.017
시멘트 모르타르면	0.011~ 0.015	시멘트 모르타르면	0.010~ 0.017
유리, 청동, 구리	0.009 ~ 0.013	유리, 청동, 구리	0.020~ 0.024

설의 값이 입력되어야 한다. 상수도 관망해석 업무는 내부적으로 각 절점에 유입 및 유출량을 입력한 뒤 각 루프를 구성하는 상수관거를 검색하여 Hardy-Cross방식을 이용하여 보정된 유량 및 손실수두를 산정하는 작업을 수행하게 된다. 이 들 각각의 업무는 각각의 Use Case로 규정하여 설계하였다. 그림 3은 상수도 관망해석에 관한 공무원과 Use Case 그리고 이들의 관계를 보이고 있다.

2.3.2 Interaction 다이어그램

Interaction 다이어그램에는 Sequence 다이어그램과 Collaboration 다이어그램이 있다. Interaction 다이어그램은 시스템의 동적인 측면을 모델링하기 위해 쓰이는 UML 다이어그램 중에 하나이며, 객체들과 그들간의 관계로 구성된 교류를 보여주고, 또한 전달되는 메시지를 보여준다. Sequence 다이어그램은 시간순서를 강조하여 도시하며, Collaboration 다이어그램은 메시지를 주고받는 객체조직의 구조를 강조하는 도해이다. 두 다이어그램은 서로 상호 변환이 가능하며, 본 연구에서는 시간 흐름을 강조한 Sequence 다이어그램을 도시하였다(그림 4). 그림 4의 Sequence 다이어그램은 상수도 관망해석을 수행하기 위한 객체를 초기 유입/유출량 설정 객체, 관망해석 객체, DB Accessor로 규정하였으며, 관망해석 업무 수행의 시간 순서에 따라 객체간의 메시지 교환이 수행됨을 볼 수 있다. 그림 4의 1은 담당 공무원에 의하여 관망해석을 위하여 요구되는 초기유입유출량을 설정하는 과정이며, 그림 4의 2~8은 공무원이 상수 관망해석 객체에 관거별 유량과 손실수두를 산정할 것을 요구하는 것으로 관망해석 객체가 초기유입유출량 객체를 통하여 값을 참조하고, DB 접근자 객체를 통

하여 관거의 속성을 참조하여 상수관거의 유량 산정 및 관거별 보정유량 계산결과를 저장하는 흐름을 보인다.

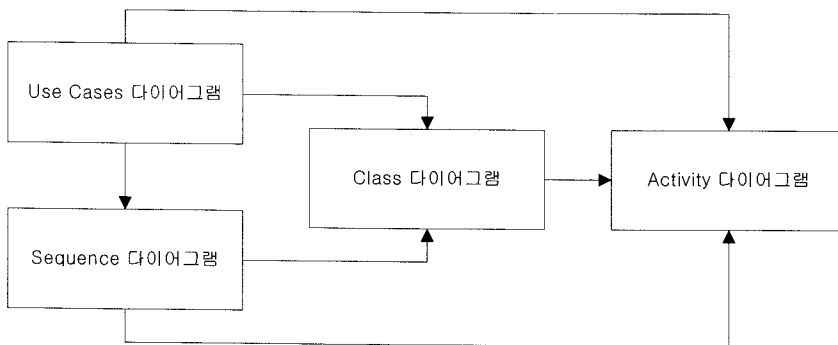
2.3.3 Class 다이어그램

Class 다이어그램은 클래스와 인터페이스, 데이터 베이스 등의 개체와 그 개체들의 관계를 보여주는 그림이다. 상수도 관망해석 컴포넌트 설계를 위해서 핵심이 되는 도해로서 상수도 관망해석이며, 핵심객체는 초기 유입/유출량설정, HardyCross방식적용, 레지스트리등록, 상수관거속성테이블, 상수부속시설테이블, 상수관망해석 결과테이블, DB Accessor가 있다.

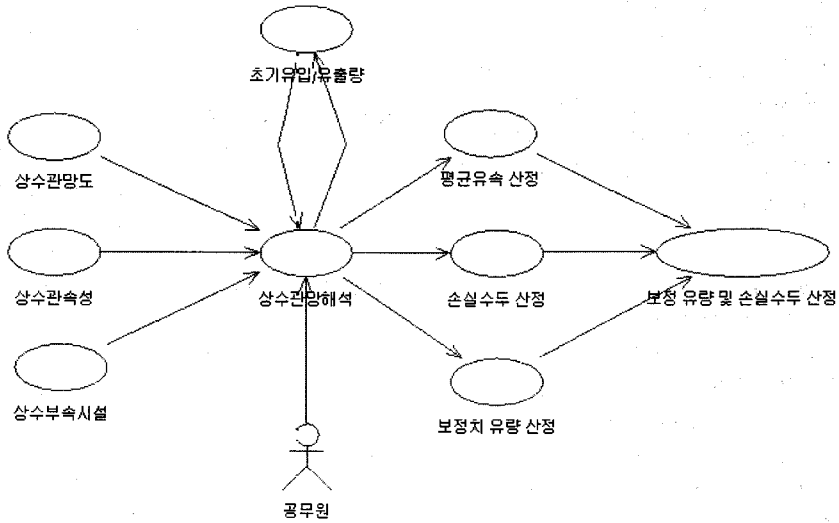
상수도 관망해석을 하기 위해서는 각각에 필요한 초기유입유출량을 설정할 필요가 있다. 또한 초기 유입/유출량 설정객체는 상수도 관망해석에 필요한 초기값을 저장하고 불러오는 객체이다. 상수관망해석 객체는 초기 유입/유출량의 설정값과 상수관거의 속성테이블을 이용하여 관거별 상수 유량 및 손실수두를 계산하며, 결과는 각 상수관망해석 결과테이블에 저장된다. 이러한 상수관망해석 결과의 저장은 DB Accessor를 이용하여 각 관거별로 저장된 상수 유량 및 손실수두 결과를 테이블에 저장하게 된다(그림 5).

2.3.4 Activity 다이어그램

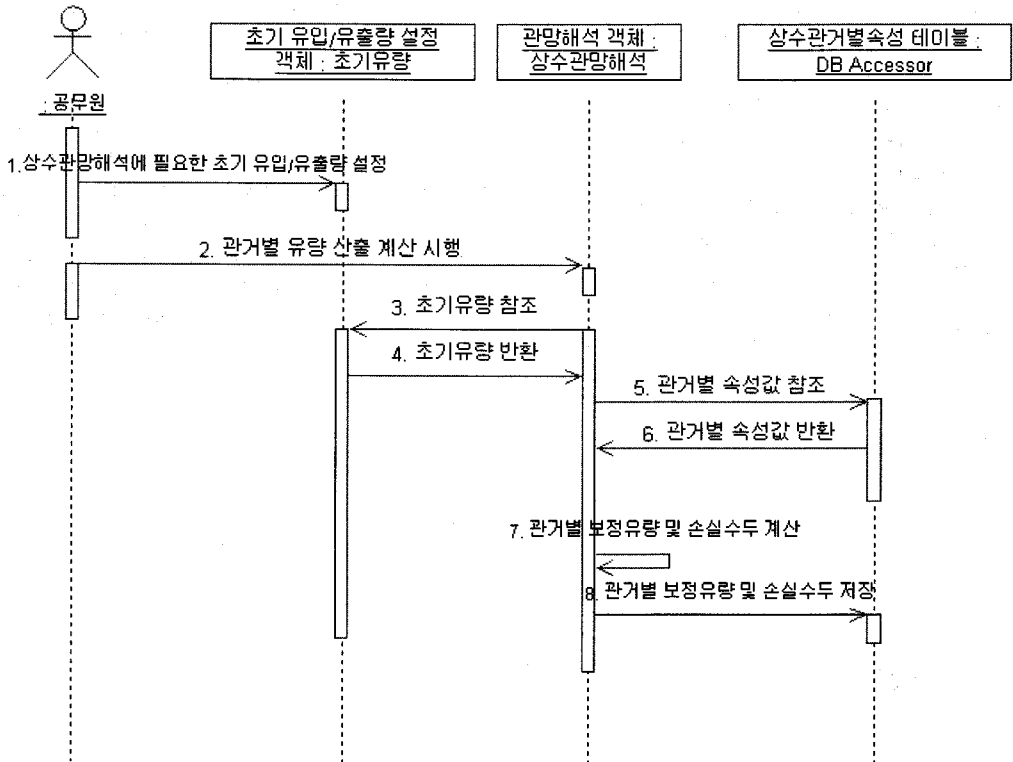
Interaction 다이어그램이 메시지를 통과시키는 객체들을 보는 것이라면, Activity 다이어그램은 객체간에 통과하는 오퍼레이션을 보는 것이다. 즉 상수관망해석을 시작해서 종료할 때까지 수행하는 오퍼레이션들과 그 흐름을 볼 수 있다(그림 6). 그림에서 보는 바와 같이 상수관망해석을 시작시 유입 및 유출량을 설정하는 오퍼레이션을 수행하게 되며, 초기 유입·유



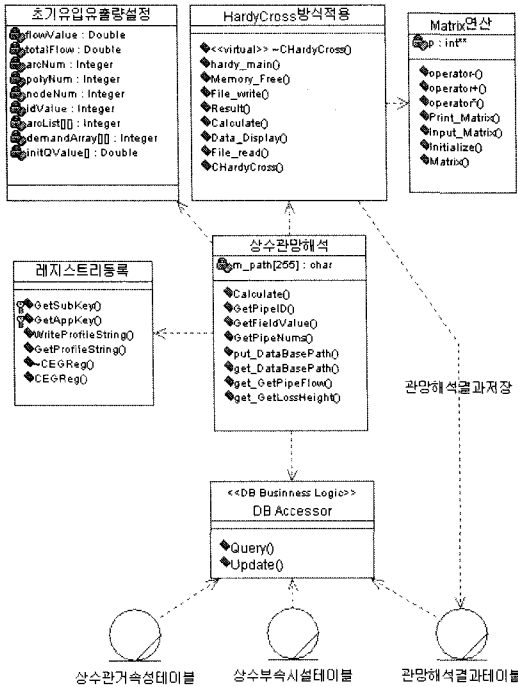
〈그림 2〉 UML을 이용한 관망해석 컴포넌트 추상 설계 과정



〈그림 3〉 상수도 관망해석의 Use Case 다이어그램



〈그림 4〉 상수도 관망해석의 Sequence 다이어그램



〈그림 5〉 상수관망해석의 Class 다이어그램

출량의 설정은 상수관망해석을 위한 유입량과 유출량 결정으로 이어진다. 이러한 초기값을 설정한 후에는 각 관거별 유량 및 손실수두의 산정이 수행되며, 상수관망해석으로 이어진다.

2.3.5 Component 다이어그램

상수관망해석 컴포넌트는 궁극적으로 하나의 컴포넌트로 설계되며, 설계된 상수관망해석 컴포넌트는 관망해석의 결과를 표현하기 위해서는 지리정보를 입력, 수정, 표현할 수 있는 기반이 되는 컴포넌트가 필요하다. 상수관망해석 컴포넌트는 여러 GIS 컴포넌트에 모두 유연하게 연동될 필요가 있으며, 또한 여러 개발 소프트웨어와의 연동이 가능할 필요가 있다. 그림 7은 상수관망해석 컴포넌트와 GIS 컴포넌트의 연계를 보여준다.

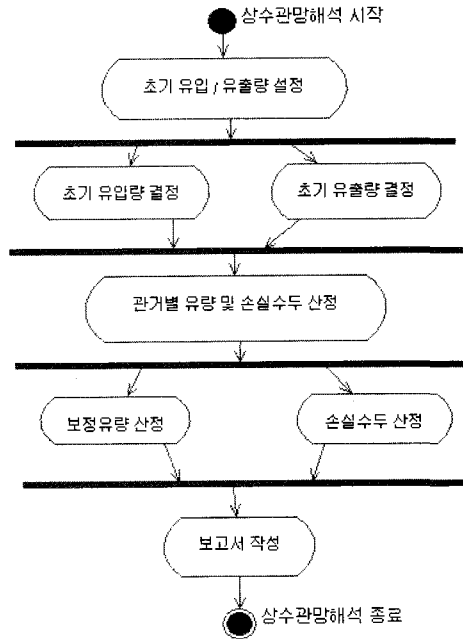
2.4 구현 명세서

2.4.1 클래스 명세서

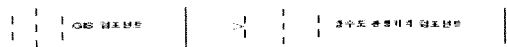
상수도 관망해석 컴포넌트를 구현하기 위하여 클래스 명세서를 그림 8과 같이 설계하였으며, 그 목록은 표 4와 같다.

2.4.2 데이터베이스 명세서

상수도 관망해석에 필요한 입력자료와 결과자료의 주요 목록에는 상수관 속성데이터(표 5), 상수관 부속 시설 속성데이터(표 6), 상수도 관망해석 결과데이터(표 7) 등이 있다.



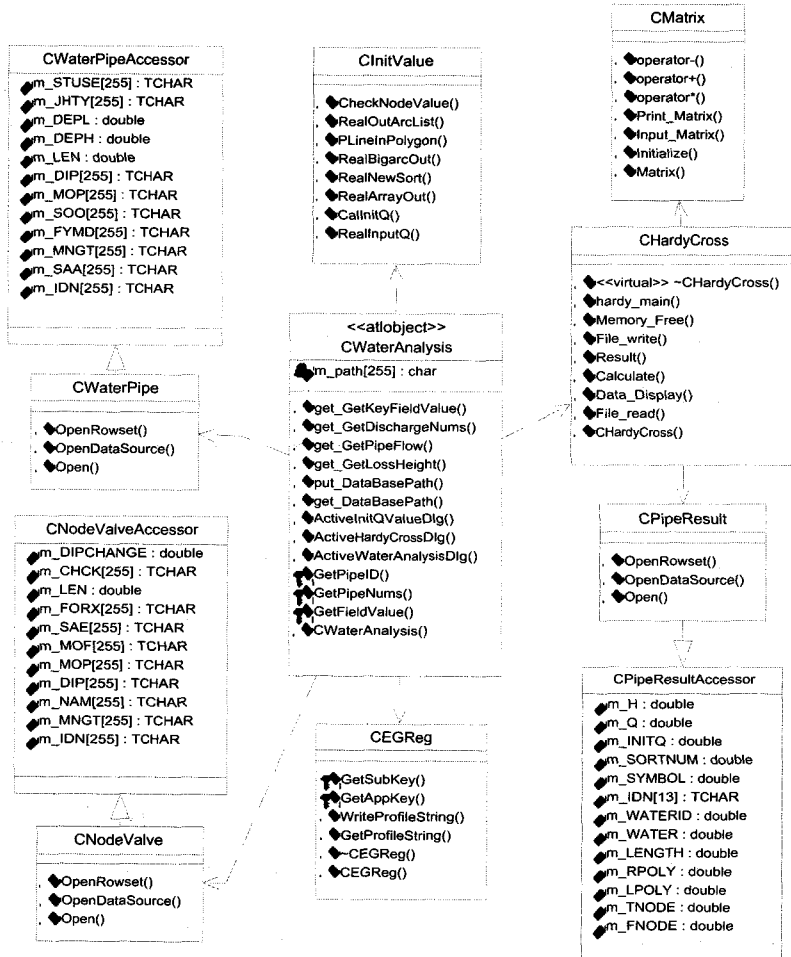
〈그림 6〉 상수관망해석의 Activity 다이어그램



〈그림 7〉 상수도 관망해석의 컴포넌트 다이어그램

3. 결론 및 향후과제

지자체 상수도 업무중 상수관거의 유량 및 손실수두 산정 업무는 지자체마다 동일한 업무라 할 수 있다. 본 연구에서는 상수관망해석에 관한 연구동향을 조사함으로써 상수도 관망해석 컴포넌트의 필요성을 뒷받침할 수 있었다. 주요 연구내용으로는 상수도 관망해석 업무에 대하여 요구분석을 수행하였으며, 상수도 관망해석을 위한 알고리즘을 정립하였으며, 알고리즘을 기반으로 상수관망해석 컴포넌트를 설계하였다. 상수관망해석 컴포넌트 설계는 자체의 재사용성을 극대화하기 위해 UML로써 설계하였다. 상수도 관망해석 컴포넌트는 상수관거별 유량을 산출하고 손실수두를



〈그림 8〉 클래스 명세서

〈표 4〉 클래스 세부명세 목록

구분	클래스 명	세부 명세
1	CEGReg	기초 환경변수값을 레지스트리에 저장
2	CWaterAnalysis	상수관망해석 수행
3	CWaterPipe	상수관거속성 DB 클래스
4	CWaterPipeAccessor	상수관거속성 DB 접근자
5	CNodeValve	상수관 부속시설속성 DB 클래스
6	CNodeValveAccessor	상수관 부속시설속성 DB 접근자
7	CInitValue	초기유입 및 유출량 산정
8	CMatrix	매트릭스 연산 클래스
9	CHardyCross	Hardy-Cross방식 적용
10	CPipeResult	상수관망해석결과 DB 클래스
11	CPipeResultAccessor	상수관망해석결과 DB 접근자

〈표 5〉 상수관 속성테이블

No	필드명	필드정의	타입	기록형태	단위
01	IDN	상수관ID	문자열	11	
02	SAA	상수관용도	문자열	6	
03	MGMT	관리기관	문자열	2	
04	SOO	개통상태	문자열	6	
05	DIP_CHANGE	관경	정수	4	mm
06	LEN	길이	실수	6,2	m
07	MOP	재질	문자열	6	
08	DEPH	최저깊이	정수	4,2	m
09	DEPL	최고깊이	정수	4,2	m
10	JHTY	집합종류	문자열	6	
11	FYMD	최초설치일	실수	-	
12	YMD	설치일자	실수	-	
13	STUSE	시스템사용	문자열	1	

〈표 6〉 상수관 부속시설 속성테이블

No	필드명	필드정의	타입	기록형태	단위
01	IDN	부속시설ID	문자열	11	
02	MGMT	관리기관	문자열	2	
03	YMD	설치일자	실수	-	
04	DIP	관경	정수	5	mm
05	STUSE	시스템사용	문자열	1	

〈표 7〉 상수도 관망해석 결과테이블

No	필드명	필드정의	타입	기록형태	단위
01	IDN	상수관ID	문자열	11	
02	LEN	누적길이	실수	6,2	m
03	INIT Q	초기 유입·출량	실수	6,2	l/sec
04	Q	보정유량	실수	4,2	l/sec
05	H	손실수두	실수	4,2	m

산정할 수 있는 기능을 제공할 수 있도록 추상 설계 및 세부 구현 설계가 이루어졌다.

본 연구에서는 상수도 관망해석을 수행하는 방법 중 가장 간단한 Hardy-Cross 방법을 사용하였으므로 가압장, 감압변 등의 변류에 대한 고려를 하지 못하므로 다소의 오차를 가질 수 있다. 또한 시산법에 의한 관망해석에 기반을 둔 만큼 반복계산에 의한

오차가 확대될 우려가 있다. 이러한 측면에서 향후에는 선형계획법이나 비선형계획법 알고리즘을 이용하여 개발되어야 할 것으로 사료된다. 또한 본 논문에서는 상수도관망해석 컴포넌트의 설계까지만 언급되었으며, 향후 실질적인 컴포넌트의 구현이 이루어져야 한다.

참고문헌

[1] 건설교통부, "지하시설물 관리시스템 개발보고서 (상)", 1997

[2] 건설교통부, "지하시설물 관리시스템 개발보고서 (하)", 1997

[3] 성남시, "상수도 종합관리 시스템 개발 보고서", 1995

[4] 이우철, 이정훈, 김계현, "GIS를 이용한 사고관리 시스템 개발에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표회, 1999

[5] 이종형, "최신 상하수도 공학", 구미서관, 1998

[6] 이진우, "상하수도 공학", 예문사, 1999

[7] 한국시스템통합연구조합, "상수도 관리시스템 개발보고서", 1997

[8] Grady Booch, and James Rumbaugh, and Ivar Jacobson, UML 사용자 지침서, 인터비전, 1999

[9] Jake Sturm, Professional VB UML, 정보문화사, 1999

김계현

1982년 한양대학교 자원공학과 졸업(공학사)
 1989년 아리조나 주립대 수문학과 졸업(공학석사)
 1993년 위스콘신주립대 토목환경공학과 졸업(공학박사)
 1995년 ~ 인하대학교 지리정보공학과 부교수
 관심분야: 환경, 수자원, 상하수도 및 지하시설물 관리분야의 GIS활용, 주제도 제작 및 GIS 표준화 등

김준철

2000년 인하대학교 지리정보공학과 졸업(공학사)
 2000년 ~ 현재 인하대학교 지리정보공학과 석사과정
 관심분야: UIS, RS, GPS, 컴포넌트 GIS, 인터넷 GIS, 공간데이터베이스, 공간자료구조 분야

박태욱

1981년 부산대학교 사범대학 지구과학과 졸업(이학사)
 1985년 부산대학교 대학원 지구과학과석사 졸업(이학 석사)
 2000년 ~ 현재 인하대학교 지리정보공학과 박사과정수료
 관심분야: UIS, RS, GPS, 컴포넌트 GIS, 인터넷 GIS, 공간데이터베이스, 공간자료구조 분야