

단지개발에서 토지이용계획을 고려한 홍수조절용량 예측 다중회귀모형 개발

Development of Multiple Regression Models for the Prediction of Flood Control Capacity with Land Use Plan in the Development of Complex Area

박용수*, 이충희**, 박영진***

Yong Soo Park, Chung Hee Lee, Young Jin Park

요 지

최근 중소규모의 도시개발, 택지개발, 유통단지, 산업단지, 주택단지 조성 등의 단지개발이 급속히 증가하고 있으며, 이에 따라 재해영향평가 및 사전재해영향성 검토도 증가하고 있는 실정이다.

단지개발은 보통 지구지정 또는 기본계획을 수립하여 개발계획 승인을 받고 실시계획을 통하여 실시계획을 승인을 받는 절차를 갖는다. 이에 효율적인 토지이용계획을 위하여 개발계획 승인 전에 수습 회의 토지이용을 변경하고 또한 실시계획승인 전에도 토지이용계획은 수회의 변경을 통하여 이루어진다. 이에 재해영향평가 및 사전재해영향성검토를 초기단계에서 수행하는 실무자들은 토지이용계획의 빈번한 변경으로 인하여 저류지 규모 산정에 어려움을 가지고 있다.

단지개발의 토지이용계획 특성상 투수지역이 다소 있는 단지, 투수지역인 공원·녹지, 불투층인 도로·주차장으로 주로 구성된다는 공통점이 있다. 따라서 최근의 심의 완료된 재해영향평가보고서들을 인용, 각 단지개발의 토지이용계획도를 고려한 저류지 홍수조절용량을 산정하는 경험적이고 통계적인 다중회귀모형을 개발하였다.

금회 유도된 다중회귀모형식은 재해영향평가 및 사전재해영향성검토를 수행하는 실무자에게 행정계획단계뿐만 아니라 개발사업단계에서도 신속하게 저류지 규모를 개략 산정하고, 비전문가인 검토자가 신속히 홍수조절용량의 적정성을 검토하는데 매우 효과적으로 사용될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 사전재해영향성 검토, 재해영향평가, 토지이용계획, 저류용량,

1. 서 론

최근 중소규모의 각종 택지개발 및 단지 조성 등의 행정계획 및 개발사업이 급속히 증가하고 있으며, 이에 따라 재해영향평가 및 사전재해영향성 검토도 급격히 증가하고 있는 실정이다. 택지 및 단지개발사업은 보통 지구지정 또는 기본계획을 수립하여 개발계획 승인을 받고 실시계획을 통하여 실시계획을 승인을 받는 절차를 갖으며, 이에 효율적인 토지이용계획을 위하여 개발계획 승인 전에 수습 회의 토지이용을 변경하고 또한 실시계획승인 전에도 토지이용계획은 수회

* 정회원 · (주)건화엔지니어링 수자원부 과장 · E-mail : yongsu@kunhwaeng.co.kr

** 정회원 · (주)건화엔지니어링 수자원부 대리 · E-mail : freezer@hanmail.net

*** 정회원 · 서울대학 토목과 부교수 · E-mail : profpark@seoil.ac.kr

의 변경을 통하여 이루어지고 있다.

이에 재해영향평가 및 사전재해영향성검토를 초기단계에서 수행하는 실무자들은 토지이용계획의 빈번한 변경으로 인하여 저류지 규모 산정에 어려움이 있다. 또한 검토자 및 관리자인 비전문가 입장에서는 저류지 규모의 결정 과정이 마치 Black box처럼 진행되고 있어서 비전문가가 결정된 저류지의 규모가 적정한지 검토하기에는 어려움이 있다.

따라서 대단위 단지계획 및 개발의 공통점을 이용하여, 최근 이루어진 개발에 따른 영향성을 검토한 재해영향평가 보고서들의 자료를 인용, 각 단지계획 및 개발의 토지이용계획도에 따른 홍수조절용량을 예측하는 다중회귀예측모형을 개발하였다.

2. 홍수조절용량 예측을 위한 다중회귀 모형의 개발

2.1 기본이론

2.1.1 수문학적 이론

우리나라 풍수해 피해의 근본적인 원인이 우리나라의 기상학적 및 지형학적 특성에 기인하지만, 이 외에도 도시화와 산업화에 따른 단지개발사업으로 인하여 재해 위험성이 고조되고 있다.

단지개발사업은 주로 농경지, 임야 등의 자연상태의 토양으로 피복되어 있던 지역을 주로 아스팔트나 콘크리트 등의 불투수 유역으로 변화시키게 한다. 개발사업의 시행에 따른 재해요인의 변화는 여러 가지가 있을 수 있으나, 그 중 대표적인 요인은 불투수면의 증가로 인한 홍수유출량의 증가로 볼 수 있으며, 불투수면의 증가는 지하로 침투되는 비율을 감소시킴에 따라 연간 우수유출량은 개발이전에 비해 2배 내지 16배까지 증가한다고 한다(Schueler, 1994).

불투수면의 증가에 따른 재해위험성은 지속적인 경제성장과 생활수준의 향상에 따라 더욱 가중될 것이 자명하므로 개발로 인한 재해의 영향을 최소화할 수 있는 방안이 확립되어야 할 것이다. 이를 위해서 우리나라의 경우 개발로 인해 발생 가능한 재해영향요인을 개발사업 시행이전에 예측·분석하고 적절한 저감방안을 수립·시행토록 하기 위하여 재해영향평가 및 사전재해영향성 검토 제도가 도입되어 시행되고 있으며, 개발사업으로 인해 증가된 홍수유출량을 저감하기 위하여 도입된 시설이 바로 저류지이다.

저류지의 규모는 개발되는 유역의 집수구역(catchment ; 1.5 km² 이하) 또는 단위유역(subwater-shed ; 25 km² 이하)의 크기와 매우 밀접한 관계가 있으며, 특히 단위유역 이하에서는 유역개발에 따른 불투수면 증가의 영향이 매우 강하게 나타나고 있다(Clements, et al., 1996).

따라서 단지계획시 토지이용의 효율성 제고 및 이에 따른 영구저류지의 규모변화를 신속하게 판단할 수 있도록 저류지의 홍수조절용량과 토지이용도(도로 및 주차장의 면적, 녹지 및 공원의 면적)와의 상관관계를 면밀히 검토하여 대단위 단지계획 및 개발시 다음과 같은 공통점을 이용하여 이를 다중회귀모형으로 제시할 필요가 있다.

- ① 토지이용계획측면에서 개발전에는 농경지 및 임야 위주에서 개발후에는 투수지역이 다소 있는 주택단지, 투수지역인 공원·녹지, 불투수면인 도로·주차장으로 주로 구성되는 점
- ② 수문학적 측면에서 개발전에는 지표수흐름 위주에서 개발후에는 지하의 우수관망으로 배제하는 우수배제시스템으로 변경되는 점
- ③ 개발후 대규모 성토 및 절토로 평탄하고 완만한 단지경사를 이루는 유역특성을 가지는 점
- ④ 영구저류지 시설 설치가 필수적으로 수반되는 점

- ⑤ 불투수면의 증가는 영구저류지의 규모를 크게 하고 녹지 및 공원면적의 증가는 영구저류지 규모를 감소시킨다는 점

2.1.2 다중회귀분석 이론

1) 개념

다중회귀분석이란 종속변수의 변화를 설명하기 위하여 두 개이상의 독립변수가 사용되는 선형 회귀모형을 말한다.

2) 필요성

대부분의 상관관계구조는 여러 요인들로 복잡하게 얽혀있기 마련이며, 따라서 다수의 독립변수를 모형에 포함시키는 다중회귀분석이 불가피해진다.

3) 장점

- 오차분산(error variance)을 줄이고 종속변수에 대한 보다 충실한 설명이나 예견이 가능
- 다른 독립변수의 값을 통제한 상태에서 특정 독립변수가 종속변수에 독립적으로 행사하는 영향력을 측정할 수 있음
- 따라서 각 독립변수가 종속변수에 미치는 효과의 상대적인 비교와 보다 정밀한 상관관계의 분석이 가능함

4) 다중회귀방정식 모형(독립변수가 3 개인 경우)

$$Y = a X_1 + b X_2 + c X_3 + d$$

5) 분산분석표의 해석

표 1. 분산분석표

| 요 인 | 자유도 | 제곱합 | 평균제곱 | F_0 | F_a |
|-----|---------|-------|---------------------|-----------|---------------------------|
| 회 귀 | k | SSR | $MSR=SSR/k$ | MSR/MSE | $F(k, n - k - 1; \alpha)$ |
| 잔 차 | $n-k-1$ | SSE | $MSE = SSE/(n-k-1)$ | | |
| 계 | $n-1$ | SST | | | |

검정통계량 F_0 값이 유의수준 α 인 경우의 $F(\alpha)$ 보다 클 때 기각한다. 즉, $F_0 > F(\alpha)$ 이면 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택한다. 여기서 대립가설을 채택되는 경우의 의미는 회귀직선의 기울기 a, b, c 가 동시에 0은 아니다 라는 것을 의미한다.

6) 결정계수

단순회귀분석의 결정계수의 의미와 같게 해석한다.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

7) 표준화된 다중회귀분석

표준화된 다중회귀분석이란, 종속변수와 독립변수를 표준화시켜 회귀분석한 것을 말하며, 이 경우에는 절편항이 필요 없어진다. 표준화된 회귀분석에서 회귀계수들의 절대값이 클수록 독립변수 x 가 종속변수 y 에 주는 영향이 크다는 것을 의미한다.

8) 분산분석

분산분석에는 크게 t-test와 F비(ANOVA)가 있는데, t-test는 2개의 표본을 취급하여 표본평균간의 차이를 검증하고자 할 때 이용하는 분석 방법이고, F비는 3개 이상의 표본을 취급하여 표본평균간의 차이를 검증하고자 할 때 이용하는 분석 방법이다. 금회 분석에서는 F비를 이용하였다.

2.2 다중회귀 모형의 개발

2.2.1 입력자료 및 모형의 제한조건

금회 개발된 저류지의 홍수조절용량 예측 다중회귀모형은 통계적인 분석을 통하여 제시되는 경험식이다. 다중회귀예측 모형식의 *y*축은 종속변수로서 저류지의 홍수조절용량으로 설정하였으며, *x*축은 독립변수로서 전체 개발면적에서 녹지 및 공원면적, 도로 및 주차장의 면적을 뺀 면적과 녹지 및 공원면적, 도로 및 주차장 면적으로 설정하였다.

이상치 처리를 한 후의 입력자료는 38개이며, 개발면적의 범위는 15만 m² ~ 350만 m²이다. 다중회귀모형의 결정에 있어서 신뢰수준은 99%로 설정하였으며, 독립변수들의 t 검정 및 F 검정을 통하여 기초적인 분산분석을 실시하였으며, 또한 각 독립 변수 대 잔차에 대한 잔차도와 예측값 대 관측값에 대한 선적합도 및 정규확률도를 제시하여 통계적 신뢰성을 확인하였다.

개발되는 다중회귀 예측모형은 다음식과 같다.

$$V = a A_H - b A_G + c A_P + d$$

여기서 *V* : 저류지의 홍수조절용량(m³)

A_H : 전체 개발면적(m²) - 녹지 및 공원면적(m²) - 도로 및 주차장 면적(m²)

A_G : 녹지 및 공원면적(m²)

A_P : 도로 및 주차장 면적(m²)

a, b, c, d : 다중회귀상수 (단, *y*절편인 *d*는 “0”으로 고정하였음)

2.2.1 산정 결과

다중회귀 분석 결과, 다중회귀상수 *a, b, c, d* 는 각각 0.03025, 0.0179, 0.04954로 산정되었으며, 다중상관계수는 87.07 %, 결정계수는 75.81 %로 나타났다.

표 2. 분산분석 결과

| | 자유도 | 제곱합 | 평균제곱 | F 비 | 유의한 F |
|-----|-----|-----------------------|-----------------------|-------|------------------------|
| 회 귀 | 3 | 1.03×10 ¹⁰ | 3.43.×10 ⁹ | 36.56 | 9.59×10 ⁻¹¹ |
| 잔 차 | 35 | 3.28×10 ⁹ | 9.38.×10 ⁷ | | |
| 계 | 38 | 1.36×10 ¹⁰ | | | |

표 3. 다중회귀 분석 결과

| | 계수 | 표준 오차 | t 통계량 | P 값 | 하위 99 % | 상위 99 % |
|----------------------------|----------|--------|---------|---------|----------|---------|
| 단지 면적(m ²) | 0.03025 | 0.0098 | 3.0961 | 0.00385 | 0.00364 | 0.05686 |
| 녹지 및 공원 (m ²) | -0.01790 | 0.0183 | -0.9803 | 0.33367 | -0.06765 | 0.03184 |
| 도로 및 주차장 (m ²) | 0.04954 | 0.0239 | 2.0747 | 0.04543 | -0.01550 | 0.11458 |

각 독립변수에 따른 종속변수의 선 적합도를 도시한 결과, 일반 단지의 면적변화에 비해 녹지 및 공원, 도로 및 주차장의 면적변화에 대한 홍수조절용량 변화의 기울기가 급하다는 것을 알 수 있다.

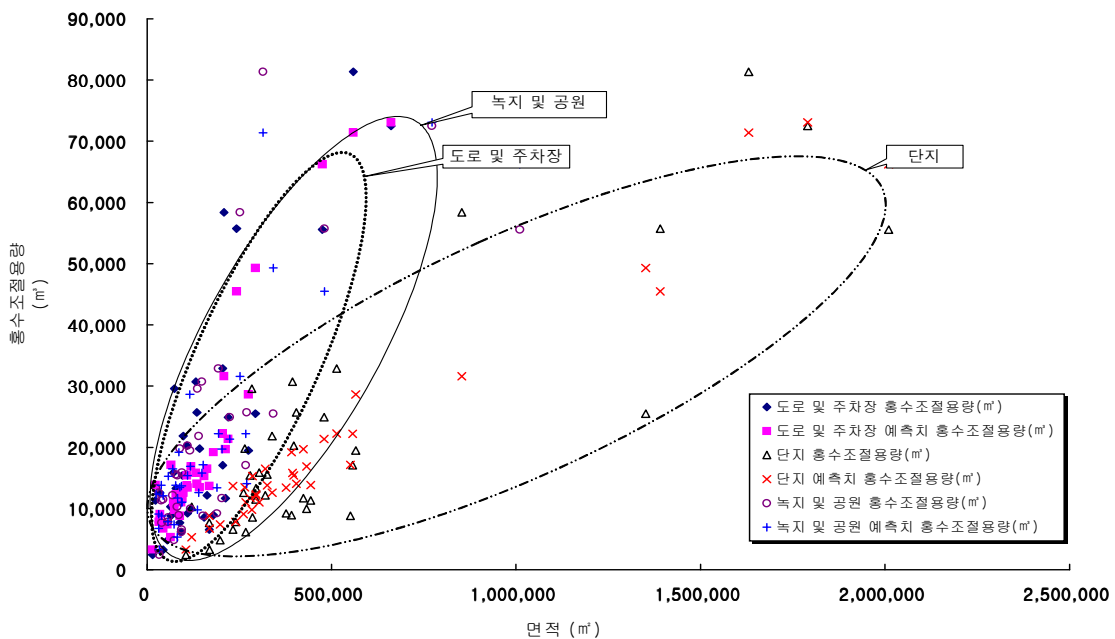


그림 1. 각 독립변수에 따른 종속변수의 선 적합도

3. 결론 및 기대효과

단지개발에서 토지이용계획도를 이용하여 저류지의 홍수조절용량을 예측할 수 있는 다중회귀 모형을 개발하였으며, 본 연구의 결과로 전문가인 실무 기술자나 비전문가인 검토자 측면에서 다음과 같은 효과가 기대된다.

- ① 유역관리의 지표인 불투수면, 주택밀도, 도시적 토지이용도에 민감한 홍수유출량에 따른 영구저류지 규모의 신속한 검토 가능
- ② 실무자가 행정계획단계뿐만 아니라 개발사업단계에서도 수많은 토지이용의 변화에 즉각 신속하게 저류지 규모를 개략 산정하는데 매우 효과적
- ③ 검토자 및 저류지추적 등의 전문적인 수리·수문 과정을 이해하기 힘든 비전문가인 관리자의 측면에서 손쉽게 저류지의 규모의 적정성 검토 가능

참 고 문 헌

1. 최지용(2004). 중·소유역계획 수립을 통한 통합수자원 관리, **한국수자원학회지**, 제37권 제3호, pp. 21-28.
2. 윤상운, 이태섭(2000). **실용통계학**, 자유아카데미.
3. Clemets, et al(1996). Framework for a Watershed Management Program. Water Environment Research Foundation, Alexandria, VA., p. 150.
4. Schueler, T.(1994). "The Importance of Imperviousness." Watershed Protection Techniques. 1(3) : pp.100-111.