

## 적설 및 용설의 영향을 고려한 장기유출 모의

# Long-Term Runoff Simulation in Consideration of Snow Pack and Snow Melt

김대근<sup>1,\*</sup> · 정재웅<sup>1</sup> · 박재현<sup>2</sup> · 박창근<sup>3</sup>

Kim, Dae Geun<sup>1,\*</sup> · Jeong, Jae Ung<sup>1</sup> · Park, Jae Hyun<sup>2</sup> · Park, Chang Geun<sup>3</sup>

1 목포대학교 공과대학 건설공학부 토목공학전공

2 인제대학교 공과대학 토목공학과

3 관동대학교 공과대학 토목공학과

(2006년 6월 22일 논문 접수; 2007년 6월 8일 최종 수정논문 채택)

### Abstract

This study uses the SWAT model to analyze the characteristics of long-term runoff at the Ssang-cheon Basin located in the city of Sokcho, which is located in the province of Gangwon. The study considers the effect of snow packing and snow melting in a runoff simulation. In this simulation, the study examines the need to introduce a snow pack and snow melt model to evaluate the water resources of the mountainous region of the Gangwon province. The findings of this study indicate that the runoff hydrograph that was produced approximates the true measured flow when the effect of the snow pack and snow melt are considered, compared to when they are not factored in. The analysis of the flow duration curve indicates that the stream flow largely increases when the effect of the snow pack and snow melt are considered. The wet stream flow was shown to increase by nearly 3% due to the melting effect, while the normal stream flow, low stream flow and drought stream flow were shown to increase by slightly more than 10%. Specifically, it was found that as the stream flow decreases, the effect of the snow pack and snow melt on the stream flow increases.

**Key words:** SWAT model, long-term runoff, snow pack, snow melt, flow duration curve, wet stream flow, normal stream flow, low stream flow, drought stream flow

**주제어:** SWAT 모형, 장기유출, 적설, 용설, 유황곡선, 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량

\*Corresponding author Tel: +82-61-450-2476, FAX: +82-61-450-2476, E-mail: kdg05@mokpo.ac.kr (Kim, D.G.)

## 1. 서 론

우리나라는 약 70%가 산악지형이며, 특히 북동부 산악지대의 경우 겨울철에 내린 눈이 봄철까지 쌓여 있는 경우가 많기 때문에 수자원의 양적 측면의 평가는 겨울철의 적설과 용설의 영향을 고려하는 것이 필요하다. 이른 봄 쌓여 있던 눈이 녹아 하천유량에 미치는 영향은 홍수기 하천유량에 비해 상대적으로 적기 때문에 적설 및 용설에 관한 국내 연구는 미미하나, 수자원의 계획, 갈수량 분석 및 가뭄 연구 등 여러 가지 이수 목적으로 이용될 수 있는 수 년 혹은 수십년의 장기간에 걸친 연속적인 유출 해석을 위해서는 적설 및 용설의 영향에 관한 연구가 필요하다(김성준과 임혁진, 2005). 국내 유역에 대한 장기유출 해석에서 적설 및 용설 과정의 중요성을 제기한 국내 연구는 많지 않은 실정이다. 배덕효와 오재호(1998)는 내린천 유역에 대한 장기유출 모의시 용설의 영향이 중요함을 제기한 바 있으며, 이상호 등(2003)은 적설과 용설을 고려한 TANK 모형을 소양강댐과 충주댐 유역에 적용한 결과, 용설모형을 고려하여 모의한 결과가 이를 고려하지 않은 결과에 비해 3, 4월 유출량이 약 20% 정도 증가하는 것으로 분석한 바 있다.

국내에 적용성이 검증된 장기유출모형은 TANK, SSARR, PRMS, SLURP, NWSRFS, NWS-PC, TOPMODEL, SWAT 등 다양하다. 이들 모형에 대한 비교, 평가는 김성준과 임혁진(2005), 한국건설기술연구원(2004) 등에서 확인할 수 있다. 특히, 한국건설기술연구원(2004)에서는 장기유출모형들에 대한 평가결과, SWAT 모형이 우리나라의 장기유출 특성을 비교적 잘 모의하고, 적용성이 뛰어난 것을 제시하였다. SWAT 모형의 국내 적용은 2000년대 들어 활발히 이루어지고 있다. 강문성과 박승우(2003)는 지리정보시스템 기반의 오염총량모의시스템을 개발하는데 SWAT 모형을 적용하였다. 유철상 등(2005)은 SWAT 모형의 적용을 위한 적정 강우계 밀도를 추정하는 바 있으며, 신현석과 강두기(2006)는 유역의 저류시설물이 장기유출에 미치는 영향을 SWAT 모형을 이용하여 분석한 바 있다.

본 연구에서는 국내에서 점차 사용이 증가하고 있

으며, 그 적용성이 입증된 SWAT 모형을 이용하여 강원도 속초시에 위치한 쌍천 유역에 대한 장기유출 특성을 분석하였다. 아울러 적설 및 용설의 영향을 고려한 유출특성을 분석함으로써, 강원 산간 지대의 수자원 평가시 적설 및 용설모형의 도입 필요성을 검토하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. SWAT 모형의 적설 및 용설 모형

SWAT(Soil and Water Assessment Tool) 모형은 미국 농무성 농업연구소(USDA Agricultural Research Service, ARS)에서 개발한 유역모델이다. SWAT 모형은 대규모의 복잡한 유역에서 장기간에 걸친 토양과 토지이용 변화 및 토지관리 상태에 따른 물과 유사 및 농업화학물질의 거동을 예측하기 위하여 개발되었다. 1994년에 최초로 발표된 SWAT94.2 이후로 지속적으로 모형이 개선되고 있으며, 현재 SWAT2000 버전까지 발표되었다. 또한 Windows 환경 및 GRASS, ArcView 등의 지리정보시스템과 연계된 모형 인터페이스가 개발되었다. SWAT 모형은 개념적 모형이 아닌 물리적 과정에 바탕을 둔 모형이며, 모형화를 위해서 유역은 수 개의 소유역으로 구분되며 소유역은 다시 토양 및, 토지피복의 조합에 따라 수 개의 수문반응단위(HRUs, Hydrologic Response Units)로 구성된다(Neitsch 등, 2002).

SWAT 모형에서 수문순환은 다음과 같은 물수지 방정식에 근거한다(Neitsch 등, 2002).

$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

여기서,  $SW_t$ 는 최종토양수분량(mm H<sub>2</sub>O),  $SW_o$ 는 초기토양수분량(mm H<sub>2</sub>O),  $t$ 는 시간(일),  $R_{day}$ 는 강수량(mm H<sub>2</sub>O),  $Q_{surf}$ 는 지표유출량(mm H<sub>2</sub>O),  $E_a$ 는 증발산량(mm H<sub>2</sub>O),  $w_{seep}$ 는 토양층에서 통기대(vadose zone)로의 투수량(mm H<sub>2</sub>O),  $Q_{gw}$ 는 지하수유출량(mm H<sub>2</sub>O)이다.

식 (1)에서 강수는 강우와 강설의 합으로 정의되는데, 일평균기온 자료를 이용하여 강수는 강우 또는 강설의 형태로 구분된다. 강설의 형태로 유역에 도달한 수분은 설적(snow pack)의 형태로 저장된다. 설적

의 연속방정식은 다음과 같다.

$$SNO = SNO + R_{day} - E_{sub} - SNO_{melt} \quad (2)$$

위에서  $SNO$ 는 설적에 포함된 수분의 양( $\text{mm H}_2\text{O}$ ),  $R_{day}$ 는 강설 형태의 강수로 일평균기온이 기준 온도 보다 낮은 경우에 발생하는 강수이다.  $E_{sub}$ 는 설적에서 승화되는 수분의 양이며  $SNO_{melt}$ 는 용설 (snow melt)되는 수분의 양이다.

용설량은 기온, 설적의 온도 (snow pack temperature), 용설률(melting rate), 유역의 눈으로 덮인 면적비에 의해 결정된다. 용설된 수분은 강수와 같이 처리되는데 24시간 일정한 비율로 강우가 발생하는 것으로 가정되며, 강우로 인한 에너지는 없는 것으로 간주된다. 설적에서의 용설은 일평균기온이 설적의 용설온도,  $T_{mt}$ 보다 낮은 경우에는 발생하지 않는 것으로 간주되며, 설적의 온도는 다음과 같이 산정된다.

$$T_{snow(d_n)} = T_{snow(d_{n-1})} \cdot (1 - I_{sno}) + \bar{T}_{av} \cdot I_{sno} \quad (3)$$

위에서  $T_{snow(d_n)}$ 은 특정일의 설적의 온도,  $I_{sno}$ 는 지체 계수,  $\bar{T}_{av}$ 는 일평균기온이다.

설적에서 용설되는 수분의 양은 다음과 같이 산정된다.

$$SNO_{melt} = b_{melt} \cdot sno_{cov} \left( \frac{T_{snow} + T_{mx}}{2} - T_{melt} \right) \quad (4)$$

위에서  $b_{melt}$ 는 용설률( $\text{mm H}_2\text{O}/\text{day}/^\circ\text{C}$ ),  $sno_{cov}$ 는 유역의 눈으로 덮인 면적비,  $T_{mx}$ 는 일최대기온이다. 용설률은 다음과 같이 결정된다.

$$b_{melt} = \frac{(b_{melt6} + b_{melt12})}{2} + \frac{(b_{melt6} + b_{melt12})}{2} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365}(d_n - 81)\right) \quad (6)$$

위에서  $d_n$ 은 1년의 일(day number),  $b_{melt6}$ ,  $b_{melt12}$ 는 각각 6월 21일과 12월 21일의 용설률이다. 용설률은 자연유역에서는 약  $1.4 \sim 6.9 \text{mm H}_2\text{O}/\text{day}/^\circ\text{C}$ 의 범위를 가지는 것으로 알려져 있으며, 도시유역은 보행자와 차량의 운행 등 인위적인 요인에 따라 큰 영향을

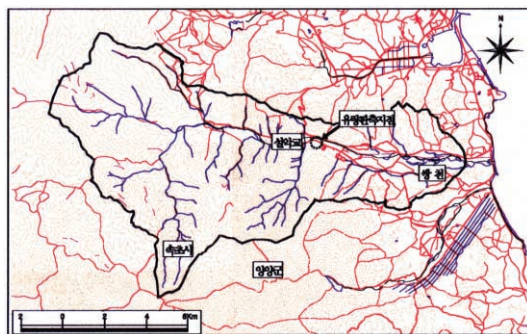


Fig. 1. 쌍천 유역.

받지만 대체로  $3.0 \sim 8.0 \text{mm H}_2\text{O}/\text{day}/^\circ\text{C}$ 의 범위를 가지는 것으로 알려져 있다.

## 2.2. 대상유역 분석 및 기상자료

대상유역은 강원도 속초시에 위치하며, 설악산 대청봉에서 발원하여 동해안으로 유입하는 쌍천 유역이다(Fig. 1 참조). 설악산은 우리나라에서 대표적으로 눈이 많이 내리는 곳으로 쌍천 유역은 장기유출 모의에서 적설 및 용설의 영향을 검토하기에 적절한 유역이다. 쌍천 유역의 유역면적은  $64.35 \text{km}^2$ 으로 강원도 속초시에 대부분 위치하며 일부 하류구간은 양양군에 위치한다. 쌍천의 하류부에는 지하댐이 설치되어 있으며, 이 곳 지하댐의 천층지하수를 취수하여 속초시의 생활용수로 활용하고 있다(대한지하수환경학회, 1998; 속초시, 2003).

쌍천 유역의 지형을 분석하기 위하여 1:25,000 수치지도도를 이용하였다. 수치지도도를 이용하여 수치표고, 경사, 주향 등을 분석하였으며 이를 참고하여 소유역을 분할하였다. 모형의 적용을 위하여 쌍천 유역을 8개의 소유역과 85개의 수문반응단위로 구분하였다(Table 1 참조). Fig. 2는 쌍천 유역의 지형특성과 소유역 분할 결과이다. 본 연구에서는 표고에 따른 기온 강하를 재현하기 위하여 표고 100m 상승시 기온은  $0.6^\circ\text{C}$  하강하는 것으로 모의하였다.

유역의 토양분포는 농업과학기술원의 1:25,000 정밀토양도를 이용하였다. Fig. 3(a)는 정밀토양도의 토양분류기호를 따랐을 때, 유역의 토양분포도이다. SWAT 모형을 적용하기 위해서는 각 토양별 속성정보에 대한 데이터베이스를 구축할 필요가 있다. 이는 농업과학기술원의 농업토양정보시스템(<http://www.>

**Table 1.** 쌍천 유역의 소유역 구분 개요

소유역 번호	면적 (km <sup>2</sup> )	평균고도 (El. m)	평균경사 (m/m)	HRU 개수
1	6.23	591.98	0.552	5
2	9.65	406.05	0.628	10
3	14.58	761.40	0.690	9
4	1.55	819.61	0.808	6
5	9.51	429.46	0.598	10
6	7.03	600.76	0.631	8
7	7.20	101.79	0.227	23
8	8.60	173.75	0.429	14
계	64.35	-	-	85

asis.rda.go.kr)의 토양정보를 활용하였으며, 본 연구의 수문분석에 필요한 토양의 종류 및 투수성, 토양의 층 및 두께, 입도 등의 자료를 데이터베이스화하였

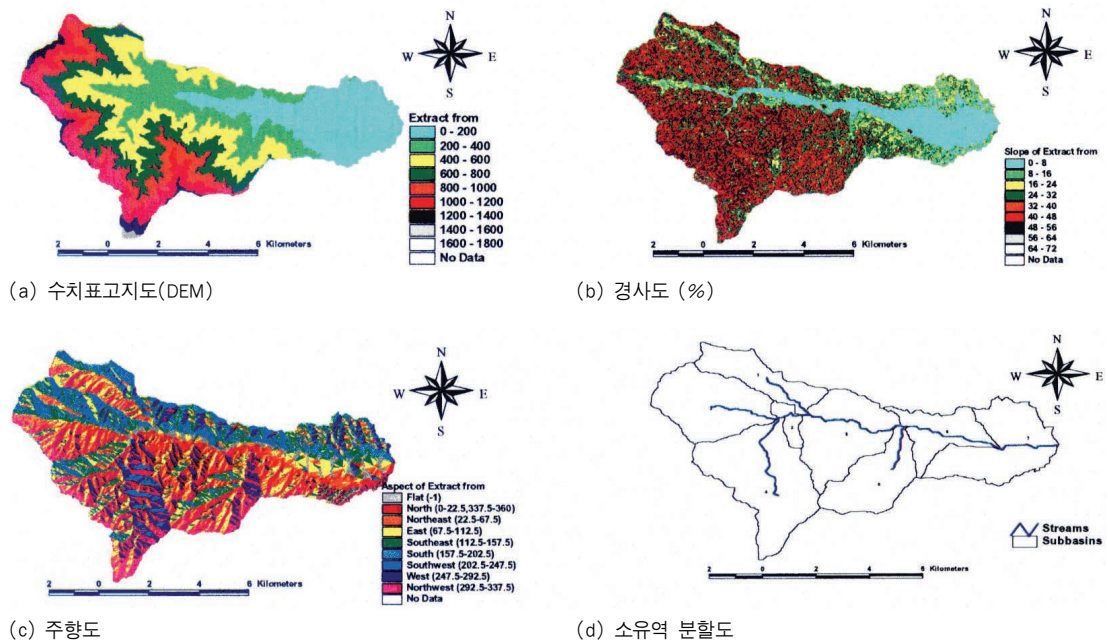
다. 정밀토양도에서 분류하고 있는 토양을 수문학적 토양군으로 분류하는 방법은 허기술과 정정화(1987)의 연구에 기초하였으며 **Table 2**는 이를 정리한 것이다.

쌍천 유역의 토지이용도는 환경부의 환경지리정보에서 제공하고 있는 토지피복도를 이용하였는데 토지 피복은 대, 중, 소분류의 체계로 분류하도록 되어 있는바, 본 연구에서는 중분류에 맞추어 분류하였다 (**Fig. 3(b)**와 **Table 3** 참조).

기상자료는 속초기상대의 자료를 이용하였다. 본 연구에서는 장기유출 현상을 모의하기 위하여 속초기상대의 최근 30년간(1975~2004년)의 일강우량, 일최대 및 일최저기온, 일평균복사에너지, 일평균풍속, 일평균상대습도와 같은 자료를 수집하여 모형의 입력

**Table 2.** 쌍천 유역의 수문학적 토양군 분류표

수문학적토양군	정밀토양도 토양통	토양분류기호
A	고천통, 덕천통, 삼각통, 삼암통, 상주통, 송산통, 수암통, 예산통, 오대통, 월곡통, 중동통, 지곡통, 황룡통,	Dq, Gz, Hl, Jd, JoB, JoC, OdF, RC, SAB, SAC, SgD2, SmE2, SmF2, SqC, SqD, SqE, SRF2, SvF2, WoB, WoC, YaD2, YaE2
B	대곡통, 사촌통	DkB, ScB, ScC
C	지산통	JlB
D	여수통, 예천통, 호남통, 화동통	HjB, HN, RO, YeB, YeC, Yf



**Fig. 2.** 쌍천 유역의 지형특성 및 소유역 분할 결과.

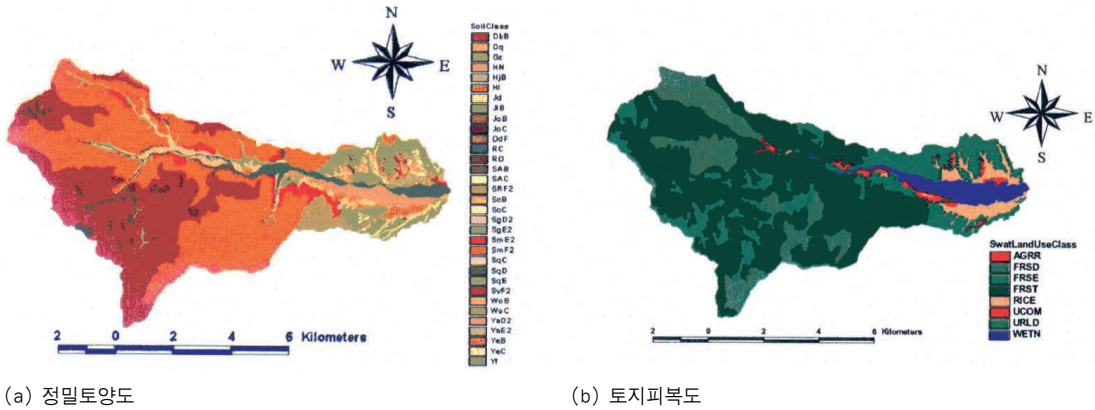


Fig. 3. 쌍천 지역의 정밀토양도 및 토지피복도.

Table 3. 쌍천 지역의 토지이용 분류표

토지피복(중분류)	토지이용 분류기호	면적(km <sup>2</sup> )
주거지역	URLD	0.52
상업지역	UCOM	0.51
논	RICE	2.55
밭	AGRR	0.69
활엽수림	FRSD	7.40
침엽수림	FRSE	11.82
혼효림	FRST	37.80
자연초지	WETN	3.06

자료로 사용하였다.

### 3. 모의결과

#### 3.1. 모형의 검증

모형의 검증을 위하여 쌍천 지역의 설악교 지점 (Fig. 1 참조)에서 측정된 유량자료를 이용하였다(속초시, 2003). 모형의 검증을 위하여 SWAT 모형의

27개 매개변수 중 유출 및 증발산에 영향을 크게 미치는 것으로 알려진 8개의 매개변수를 조절하여 시행착오를 통해 실측유량과 비슷한 유출 양상을 보이도록 반복 모의하였다. Table 4는 최종 선정된 매개변수를 정리한 것이다. 여기에 정리되지 않은 매개변수는 모형에서 기본적으로 제시하고 있는 기준값을 적용하였다.

Fig. 4는 적설 및 용설의 영향을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 실측유량과 비교한 것이다. 겨울철 1, 2월에는 기온이 낮아 강수는 눈의 형태로 내렸을 것으로 추정되며, 일평균기온이 낮아 용설량이 많지 않아 실측 유출량 역시 적게 나타나고 있다. 이후 3월말에 이르러 기온이 높아지면서 강수는 발생하지 않고 있으나 유출량은 증가하는 양상을 보이고 있다. 이는 겨울철 쌓여 있던 설적에서 용설량이 증가하면서 유출이 증가하기 때문이다. 적설 및 용설의 영향을 고려하지 않았을 때는 이러한 실측 유출량의 경향을 제대로 재현하지 못하고 있음을 알 수 있다. 그러

Table 4. 매개변수 조절 범위와 모의에 적용한 매개변수 값

매개변수	매개변수 설명	조절 범위	기준치	적용치
ALPHA_BF	지하수유출 감수상수	0.00 ~ 1.00	0.50	0.98
GWQMN(mm H <sub>2</sub> O)	천층대수층의 지하수유출 관련 임계수분량	0 ~ 5000	2500	2900
GW_REVAP	천층대수층에서 토양층으로의 수분이동 관련 계수	0.02 ~ 0.20	0.10	0.02
REVPAN(mm H <sub>2</sub> O)	천층대수층의 심층대수층으로의 침투 관련 임계수분량	0 ~ 500	250	480
ESCO	토양증발 보상계수	0.01 ~ 1.00	0.50	0.90
SMTMP(°C)	설적이 용설하는 기준 기온	-5.0 ~ 5.0	0.5	0.0
SFTMP(°C)	강수의 형태를 결정하는 기준 기온	-5.0 ~ 5.0	1.0	0.0
SMFMX/MN(mm H <sub>2</sub> O/day/°C)	용설률	1.4 ~ 6.9	4.5	3.0



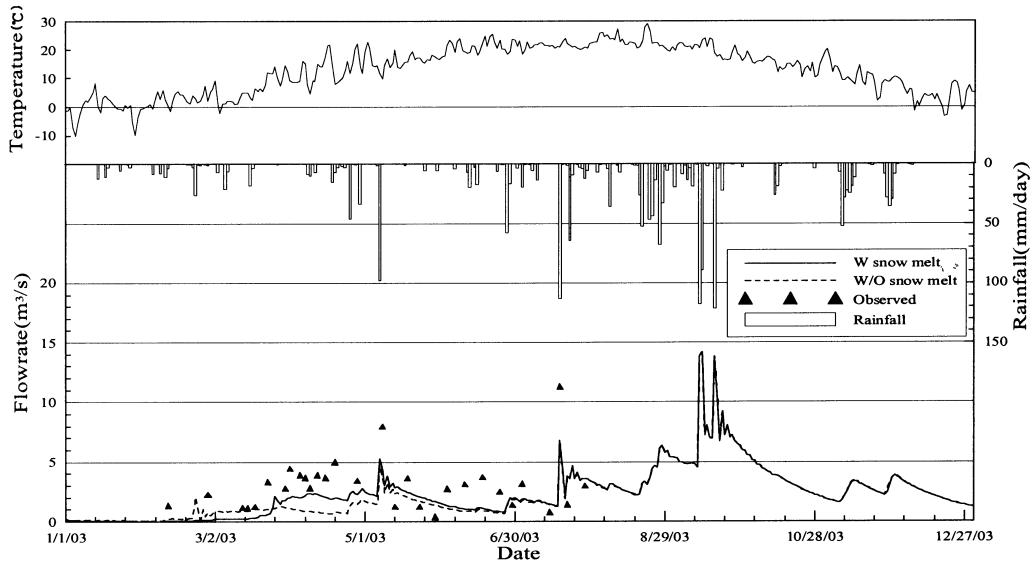


Fig. 4. 실측유량과 모의결과의 비교(2003년).

나 적설 및 용설의 영향을 고려했을 경우에는 실측 유출량의 경향성을 제대로 재현하고 있다. 속초시(2003)에 의하면 설악산에 눈이 많이 쌓여 있는 2월과 3월초에 쌓천에 유출량이 작아 제한급수를 하는 경우가 발생하는데, 이는 이상과 같은 적설 및 용설이 하천유출에 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 적설 및 용설의 영향 고려 여부에 따라 유출수문곡선의 첨두의 크기 및 그 발생시기가 변하게 됨을 알 수 있으며 그 영향은 5월까지 미치고 있음을 알 수 있다.

### 3.2. 유황분석

Fig. 5는 2001년에서 2004년까지의 겨울철과 봄철(1~5월)의 유출수문곡선을 도시한 것이다. 유출수문곡선은 적설과 용설의 영향을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우를 비교하였다. 적설과 용설의 영향을 고려했을 경우, 대체로 4월과 5월의 유출량이 증가하고 있음을 알 수 있다.

유황분석은 적설 및 용설의 영향을 고려한 경우와 영향을 고려하지 않는 경우 각각에 대해 유역 출구에서의 유출량을 이용하여 분석하였다. 유황곡선은 그 그래프의 횡축에는 누가일수, 종축에는 유량을 나타내고 하천의 일평균유량을 1년간에 걸쳐서 크기 순서대로 나열해서 얻는 곡선이다. 이 곡선상에서 95(Q<sub>95</sub>),

185(Q<sub>185</sub>), 275(Q<sub>275</sub>), 355(Q<sub>355</sub>)의 각 일수에 대응하는 유량이 각각 대상 유역의 풍수량, 평수량, 저수량, 갈수량에 해당한다. 유황곡선을 이용하여 대상 유역의 일정 지점에서의 가용 하천유량의 규모와 유량변동 특성을 평가할 수 있으며, 어떤 수량을 연간 몇 일 정도 이용할 수 있는지를 추정할 수 있기 때문에 이수(利水)계획에서 유황곡선은 대단히 중요하다.

쌓천 유역에 대해 유황곡선을 작성하기 위하여 1975년부터 2004년까지 30년간을 모의하였으며, 이 중 처음 10년간은 계산의 위밍업 단계로 간주하여 자료에서 제외한 후 1985년부터 2004년까지 총 20년간의 모의결과를 이용하여 평균 유황곡선을 작성하였다. Table 5는 쌓천 유역의 유황분석 결과이다. 풍수량은 적설 및 용설의 영향으로 약 3% 정도 증가하는 것에 그쳤지만 평수량, 저수량, 갈수량은 적설 및 용설의 영향으로 약 10% 이상 증가하는 것으로 나타났다. 특히 갈수량으로 갈수록 적설 및 용설의 영향이 유출량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 우리나라의 수자원 평가시, 특히 강원도 산간 지대인 경우에는 겨울철 적설 및 용설의 영향을 고려한 수자원 평가가 필요할 것으로 사료된다.

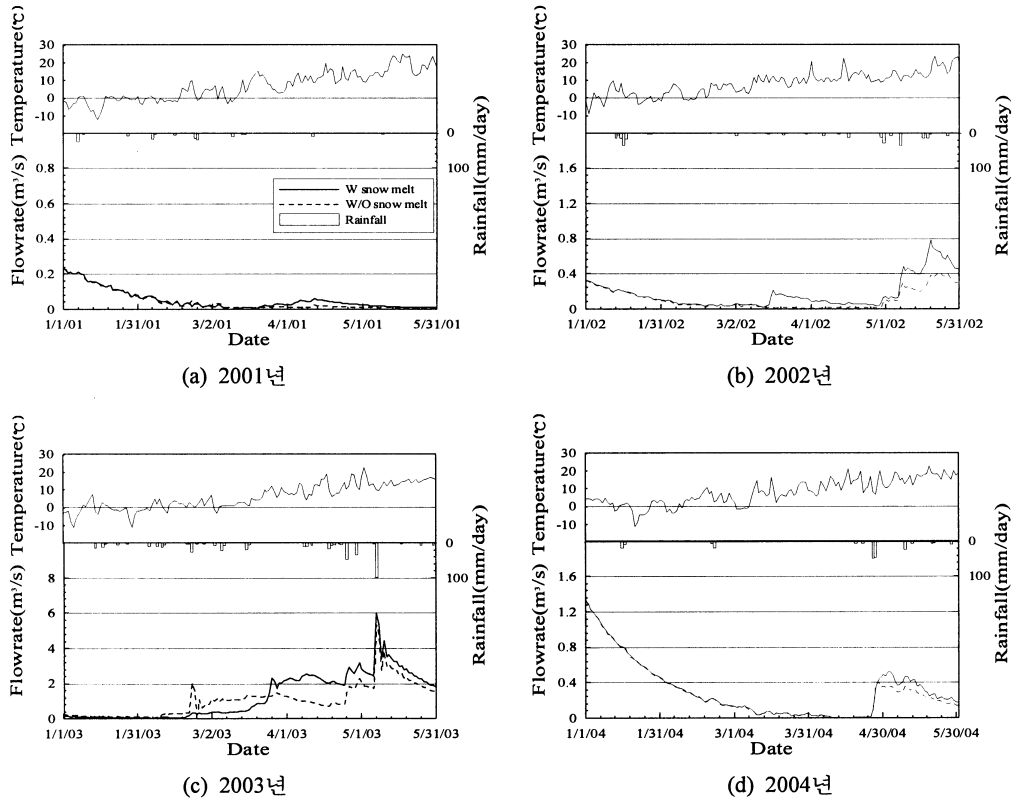


Fig. 5. 모의유량.

Table 5. 유형분석 결과

구분	적설 및 융설의 영향 고려(m³/s)	적설 및 융설의 영향 미고려(m³/s)	상대오차 (%)
홍수량(Q <sub>95</sub> )	2.341	2.268	3.1
평수량(Q <sub>185</sub> )	1.114	1.009	9.4
저수량(Q <sub>275</sub> )	0.335	0.294	12.2
갈수량(Q <sub>355</sub> )	0.019	0.012	36.8

#### 4. 결 론

우리나라는 국토면적의 약 70%가 산악지형이며, 특히 북동부 산악지대의 경우 겨울철에 내린 눈이 봄철까지 쌓여 있는 경우가 많기 때문에 수자원의 양적 측면의 평가는 겨울철 적설과 융설을 고려하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 국내에 점차 사용이 증가하고 있으며, 그 적용성이 입증된 SWAT 모형을 이용하여 강원도 속초시에 위치한 쌍천 유역에 대한 장기 유출 특성을 분석하였다. 아울러 적설 및 융설의 영

향을 고려한 유출특성을 분석함으로써, 강원 산간 지대의 수자원 평가시 융설모형의 필요성을 검토하였다. 본 연구 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 적설 및 융설의 영향을 고려했을 때의 모의결과가 적설 및 융설의 영향을 고려하지 않은 경우보다 실측 유량에 가까운 유출수문곡선의 형태를 보였다. 이는 적설 및 융설의 영향을 고려하지 않은 경우에는 강수가 발생하면 그 즉시 유출이 발생하나, 적설 및 융설의 영향을 고려하는 경우에는 기온이 낮은 겨울철의 경우, 강설 이후 기온이 상승하여 융설이 된 이후에 유출이 발생하기 때문이다.

2) 유형분석 결과, 적설 및 융설의 영향을 고려한 경우에 전체적으로 하천유량이 증가하는 것으로 나타났다. 홍수량은 적설 및 융설의 영향으로 약 3% 정도 하천유량이 증가하는 것에 그쳤지만 평수량, 저수량, 갈수량은 적설 및 융설의 영향으로 약 10% 이상 증가하는 것으로 나타났다. 특히 갈수량으로 갈수록 적

설 및 용설의 영향이 하천유량에 영향을 많이 미치는 것으로 나타났다.

3) 적설 및 용설모형의 적용 여부에 따라 봄철 갈수기 예측에 차이가 발생할 수 있으며, 유출량의 크기에도 차이가 발생하므로 장기유출 모의시 적설 및 용설의 영향을 고려하는 것이 필요하다. 특히 강원도 산간 지대에서는 겨울철 적설 및 용설의 영향을 고려한 수자원 평가가 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 3-6-2)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 강문성, 박승우 (2003) 비점원 오염모델을 이용한 오염총량모의시스템의 개발 및 적용, *한국수자원학회논문집*, **36**(1), pp. 117-128.
2. 김성준, 임혁진 (2005) 기후변화에 따른 수자원 영향평가를 위한 용설의 개념 및 장기유출 모의 평가방법의 제안, *한국수자원학회지*, **38**(3), pp. 81-92.
3. 대한지하수환경학회 (1998) 속초시 쌍천취수원 개발에 따른 수리지질연구 용역 보고서. pp. 71-86.
4. 배덕효, 오재호 (1998) 장기 유출해석에서의 용설 영향에 관한 기초 연구, *한국수자원학회지*, **31**(6), pp. 833-844.
5. 속초시 (2003), 쌍천수계 수자원 이용방안 및 가용수량 조사용역. pp. 41-56.
6. 신현석, 강두기 (2006) SWAT 모형을 이용한 인공저류시설물의 하류장기유출 영향분석 기법에 관한 연구, *한국수자원학회논문집*, **39**(3), pp. 227-240.
7. 유철상, 김경준, 김남원 (2005) SWAT 모형의 적용을 위한 적정 강우계밀도의 추정, *국수자원학회논문집*, **38**(5), pp. 415-425.
8. 이상호, 안태진, 윤병만, 심명필 (2003) 적설 및 용설모의를 포함한 탱크모형의 소양강댐 및 충주댐에 대한 적용, *한국수자원학회논문집*, **36**(5), pp. 851-861.
9. 한국건설기술연구원, 과학기술부 (2004) 지표수 수분성분 해석기술 개발, 21세기 프론티어 연구개발사업(과제관리번호 2-2-1) 1단계 보고서. pp. 51-63.
10. 허기술, 정정화 (1987) 한국토양의 수문학적 분류 및 그 응용, *농공기술*, **4**(4), pp. 47-61
11. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., King, K.W. (2002) Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, pp. 1-171, Grassland, Soil & Water Research Lab., Temple, Texas, GSWRL Report 02-01.