韓國水資源學會論文集
第37卷 第11號 · 2004年 11月
pp. 939~947

해안선의 형태를 고려한 지하수 해안 유출량 평가 기법

Assessment of Coastal Ground Water Discharge for Complex Coastlines

한 수 영* / 홍 성 훈** / 박 남 식***
Han, Su Young / Hong, Sung Hoon / Park, Nam Sik

Abstract

Amount of ground water discharging through coastline(CGD) is small compared to the amount of river discharges. However, CGD is important for ground water development in coastal areas and for contamination of coastal waters by nutrients transported by ground water. In the previous study, a method was proposed to estimate CGD from simple data such as ground water levels at observation wells and hydraulic conductivities. In this study, the method is enhanced by taking into account complexity of coastlines. A new method is proposed to estimate average hydraulic gradient, length of coastline, and average thickness of freshwater. The new method is verified against numerical solutions. It is shown that the method is able to estimate CGD from complex coastlines more accurately than the previous method.

keywords : Coastal Ground Water Discharge, Complex Coastline, Sharp Interface

요 지

해안을 통하여 유출되는 지하수량은 하천 유출량에 비하여 상대적으로 크기는 작으나 해안 지역의 지하수자원의 개발과 연안의 오염과 관련하여 중요성을 가진다. 선행 연구에서는 관측정 수위, 투수계수 등의 간단한 자료만을 가지고 지하수의 해안 유출량을 평가하는 방법을 제시하였다. 본 연구에서는 남해안과 서해안과 같이 해안선의 형태가 복잡한 경우에 평균동수경사, 해안선의 폭과 담수층의 평균 두께를 산정하는 방법을 제시하여 지하수 해안유출량 평가의 정확도를 높이는 방법을 제안하였다. 제안된 평가 방법은 경계면모델을 이용한 수치해와 비교하여 평가되었다. 해안선의 복잡성을 고려하지 않은 Darcy의 법칙의 적용에 비하여 정확도가 대폭 개선되었다.

핵심용어 : 지하수 해안유출량, 복잡한 해안선, 담수-해수 경계면

1. 서 론

지표에 도달한 강수 중 증발산을 제외한 부분은 지표를 따라 유출되거나 지하로 침투하여 지하수가 된다. 일부 지하수는 기저유출을 통하여 지표수로 환원되기도 하고, 지표수의 일부는 침투현상을 통하여 지하수로 충진되기도 한다. 그러나 지표수와 지하수는 모두 궁극적으로 바다로 유출된다. 지표수의 형태로 바다로 유출되는 수자원량에 대해서는 많은 조사가 수행되었으나 지하수의 형태로 바다로 유출되는 수자원에 대해서는 그다지 많은 조사가 수행되지 못하였다.

최근 들어 해양학분야에서 연안의 영양요소 공급원

* 동아대학교 공과대학 토목공학과 석사졸업 (현 동부엔지니어링)
Dept. of Civil Engrg.,Dong-A Univ., Busan 604-714, Korea
** 동아대학교 공과대학 토목공학과 박사수료
Dept. of Civil Engrg.,Dong-A Univ., Busan 604-714, Korea
*** 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Engrg.,Dong-A Univ., Busan 604-714, Korea
(E-mail: nspark@daunet.donga.ac.kr)

으로 지하수 해안유출량에 대한 연구가 진행되었으며 다음과 같은 방법들이 사용되었다. 침윤계(seepage meter)는 해저를 통하여 바다로 유출되는 지하수 양을 측정하는 단순한 기구이다. 기본적인 형태의 침윤계는 일정 크기의 드럼통 상부의 구멍에 비닐주머니가 설치된 형태이며 드럼통의 하부는 절단되어 단면 전체가 열려 있는 형태이다. 침윤계의 설치는 해저에 드럼통의 열린 쪽을 충분한 깊이로 매설함으로서 완성된다. 그러면 드럼통 부분으로 유출되는 지하수는 비닐주머니에 포획됨으로 지하수 해안유출량을 측정할 수 있다(Burnett 등, 2002; Shaw and Prepas, 1990; Giblin and Gaines, 1990).

추적자는 지하수에 용해되어 있는 자연적 혹은 인공적 물질이며 지하수의 흐름과 함께 이동한다. 지하수 해안유출량을 측정하는데 추적자를 사용한다면 추적자는 해수에서보다 지하수에서 훨씬 더 높은 농도를 가지는 것이 좋다. 지하수와 해수의 농도를 측정하고 계(system)에서 source와 sink를 고려하면 지하수유출량이 추정될 수 있다. 예를 들자면, 자연적으로 발생하는 방사성기체인 Rn-222가 플로리다의 여러 곳에서 지하수 해안유출량을 추정하는데 이용되었다(Kim 등, 2001; Top 등, 2001; Burnett 등, 2001). 침윤계에 대한 추적자 방법의 중요한 이점은 광범위한 지역에 대한 통합적인 지하수 유출량의 추정이 가능하다는 것이다.

해저의 열 유체 분출 현상을 음파를 이용하여 조사하는 방법이 제시된 바 있다(Rona 등, 2002). 열 유체의 분출은 밀도가 주변의 해수와 다르다는 점에서 지하수의 해안유출과 유사한 측면이 있다. 그러나 분출되기 전의 열 유체는 높은 압력으로 인하여 많은 용질이 용해되어 있는 상태인데 분출되며 압력과 온도가 낮아지며 용질이 침전(precipitation)된다. 급작스러운 용질의 침전은 주변 물의 탁도를 급상승시키기 때문에 시각적인 차이를 일으킨다. 그러나 지하수의 해안 유출에서는 이러한 탁도의 증가가 동반되지 않는 점이 차이가 있다. 또 다른 차이점은 열 유체의 분출은 큰 운동량을 가지기 때문에 밀도 차이에 의한 부력의 영향은 상당 시간 후에 나타나게 되지만 지하수 해안 유출량은 대부분의 경우 운동량이 미미하기 때문에 유출즉시 밀도 차이의 영향을 받는다. acoustic scintillation thermography(AST)는 뜨거운 물(밀도가 상이한)이 주위의 물과 혼합될 때 나타나는 파의 굴절(빛 또는 소리의)을 탐지하는 방법이다. 따라서 파의 굴절이 발생하는 정도의 해안 유출량 탐지에는 AST 기법이 활용될 수도 있을 것으로 판단된다. 이대근 등(2002)은 위성자료를 이용하여 해수의 수온분포로부터 지하수 해안유출량을 평가하는 방법에 대한 연구를 수행한 바 있다.

상기 방법 외에도 Darcy의 법칙을 이용한 평가방법도 사용되고 있다. Oberdorfer 등(1990)은 지형경사를 이용하여 캘리포니아의 토말스만으로 유출되는 지하수와 영양요소를 조사하였다. 이외에도 대규모 호수로 유출되는 지하수와 관련된 연구도 유사한 방법으로 수행된 바 있다(Sellinger, 1995, Cherkaure and McKereghan, 1991, Cherkauer and Taylor, 1990).

홍성훈 등(2003)은 지하수 해안유출량 평가기법을 검토한 결과 비용 측면 등을 고려할 때 Darcy의 법칙을 이용한 방법이 가장 효과적이라고 판단한 바 있다. 홍성훈 등은 울진군의 지하수 관측자료를 이용하여 충적층과 암반층의 해안유출량을 평가하고 대수층의 두께와 투수계수의 불확실성으로 인한 해안유출량의 범위를 Monte Carlo방법으로 평가한 바 있다. 홍성훈 등은 Darcy의 법칙을 이용하여 해안유출량 평가식을 다음과 같이 제안하였다.

$$Q = -K\frac{dh}{dl}A \tag{1}$$

여기서 Q는 해안유출량, K는 투수계수, h는 수두, A는 흐름 단면적이다. 여기서 해안선에 수직한 방향의 동수경사는 다음과 같이 근사될 수 있다.

$$\frac{dh}{dl} \approx \frac{\Delta h}{\Delta L} \tag{2}$$

여기서 Δh는 거리가 ΔL인 두 지점 사이의 수두 차이며 보통 관측정 수위로부터 산정된다. 그런데 해안선과 수직한 방향으로 관측정이 둘 이상 존재하는 경우는 드물고 하나의 관측정 만이 존재하는 것이 일반적이다. 이러한 경우에는 Δh는 해수면을 기준으로 측정한 관측정의 수위, ΔL은 관정으로부터 수직한 방향의 해안선까지의 거리가 된다(그림 1a).

그런데 해안선의 형태가 그림 1(b)와 같이 곡선의 형태이면 동수경사는 물론 단면적을 결정하는 해안선의 길이와 담수층의 두께(그림 2)의 추정에도 어려움이 따른다.

홍성훈 등이 대상유역으로 선정한 동해안에 위치한 울진지역은 해안선이 복잡하지 않은 거의 직선의 형태를 띤다. 하지만 남해안과 서해안은 해안선의 형태가 매우 복잡하기 때문에 기존의 평가기법에 대한 보완이 필요하다.

본 연구의 목적은 남해안이나 서해안처럼 해안선이

(a) 직선형 해안 (b) 곡선형 해안

그림 1. 해안선의 형태에 따른 동수경사의 변화

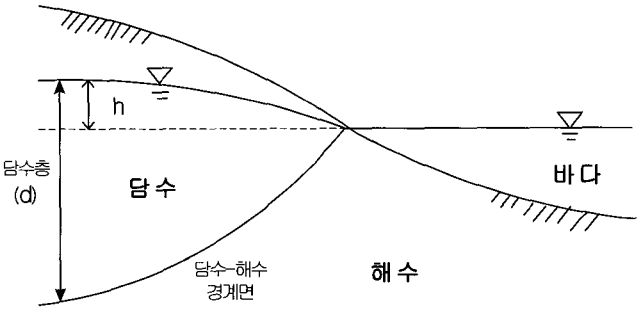


그림 2. 담수층 두께의 변화

복잡한 경우에 지하수 해안유출량 평가의 정확도에 결정적 영향을 미치는 평균 동수경사와 흐름 단면적 산정 방법을 제안하고, 수치모델을 이용하여 제안된 방법의 정확도를 평가하는데 있다.

2. 해안선의 형태를 고려한 평가기법

2.1 평균 동수경사

1차원 Darcy의 법칙을 사용하기 위해서는 먼저 복잡한 해안선을 직선형태로 단순화시키는 것이 필요하다. 해안의 돌출부를 동일한 면적의 직사각형으로 치환하면 해안선의 평균 위치와 평균 길이를 얻을 수 있다 (그림 3). 그러면 평균동수경사는 해수면 기준 관측정의 수위를 평균해안선과 관측정 사이의 거리로 나누어 구해진다.

2.2 담수층의 평균 두께

흐름 단면적(A)의 산정을 위해서는 해안선의 평균 길이와 담수층의 두께가 필요하다. 해안선으로부터 충분한 거리의 내륙에서는 담수층의 두께는 지질조건으로부터 결정된다. 그러나 해안선에 가까운 지점에서는 해수의 영향으로 담수층의 두께는 작아진다. 담수와 해수 사이에는 확산대가 존재하지만 확산대가 그다지 크지 않은 경우에는 비확산대(그림 2)로 가정될 수도 있다. 담수층의 아래에 비확산 경계면이 존재하는 경우에 임의의 지점의 담수층의 두께는 다음의 Ghyben-Herzberg 관계를 이용하여 평가될 수 있다.

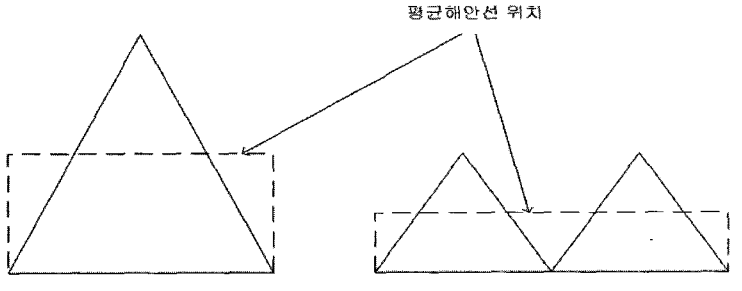


그림 3. 해안선의 평균 위치 및 평균 길이

$$d = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} h + h = 41h \quad (3)$$

여기서 ρ_s와 ρ_f는 각각 해수와 담수의 밀도이다. 위에서 산정된 담수층의 두께는 대수층의 두께가 충분한 경우에만 존재할 수 있으므로 담수층의 잠재 두께(potential thickness)로 생각할 수 있다. 대수층의 두께(D)가 충분치 않은 경우에는 대수층 내에 경계면이 존재할 수 없으며 이런 경우에는 담수층의 두께는 대수층의 두께와 동일하다.

평균동수경사가 한 지점에 위치한 관측정의 수위와 해안선까지의 거리를 이용하므로 흐름단면적도 관측정과 해안선 사이의 담수층의 평균 두께가 고려되어야한다. 담수층의 평균 두께($\bar{d}$)는 대수층의 두께와 관측정과 해안선 사이의 담수층의 두께 변화를 고려하여 다음과 같은 가중평균으로 산정될 수 있다.

$$\bar{d} = \alpha\frac{D}{2} + (1-\alpha)D = D(1-\frac{\alpha}{2}), \quad D < 41h$$
$$= \frac{41h}{2}, \quad D > 41h \quad (4)$$

여기서 $\alpha = D/41h$로 대수층의 두께와 담수층의 잠재 두께의 비를 나타낸다. 대수층의 두께가 담수층의 잠재 두께보다 작을 때에는 담수층의 두께는 대수층의 두께에 의하여 결정되고 대수층의 두께가 충분할 때에는 담수층의 잠재 두께에 의하여 결정된다.

3. 수치 검증

3.1 가상 유역

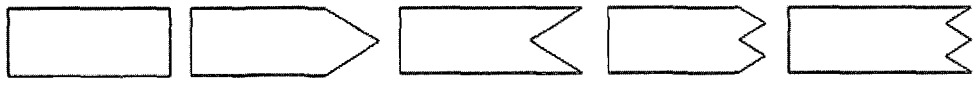
그래서 본고에서는 다양한 형태의 해안선을 가지는 가상유역을 구성하여 이를 DUSWIM으로 수치해석하고, 각각 해안선 형태에 따른 동수경사 및 담수층 두께의 결정 지표를 세우고자 한다. 가상유역과 해안선의 형태는 그림 4와 같다. 여기서 유역의 왼쪽이 내륙이며 오른쪽이 해안이다. 유역의 세부 특성은 표 1에 수록되었다.

가상 유역의 수리지질 특성은 균일한 것으로 가정하였다(표 2). 지하수 흐름은 내륙의 경계에 지정된 1m의 수두와 해수면 (0m)의 수두차이로 인하여 발생한다.

3.2 수치모델 및 해석 결과

3.2.1 비확산 모델

그림 4의 유역에서 해안선을 통하여 바다로 유출되는 지하수량을 계산하기 위하여 수치모델을 이용하였다. 사용된 모델은 담수와 해수 사이에 경계면을 가정하는 비확산 모델(Huyakorn 등, 1996)로 유한요소법으로 이산화 되었다.



(a) 유역 1 (b) 유역 2 (c) 유역 3 (d) 유역 4 (e) 유역 5

그림 4. 수치 검증을 위한 가상유역

표 1. 유역의 제원

유역	해안선 길이(m)	유역의 길이(m)		유역의 폭(m)	면적(ha)	평균해안선위치(m)
		최대	최소			
유역 1	380	1700	1700	380	64.6	1700
유역 2	1460	2000	1460	380	65.7	1730
유역 3	1340	1920	1440	380	65.7	1680
유역 4	1460	1860	1560	380	65.0	1710
유역 5	1400	1860	1580	380	65.0	1720

표 2. 가상유역의 수리 · 지질 상수

투수계수	13.13m/d
대수층두께	20m
공극률	0.3

3.2.2 지하수 해안 유출량

수치모델을 그림 4의 가상 유역과 지정된 수두조건에 적용한 결과 유역별 지하수 유출량은 표 3과 같이 계산되었다.

3.2.3 수두, 담수-해수 경계면 및 동수경사의 분포

수치모델에서 계산된 유역별 지하수위 분포는 그림 5와 같다. 해안 부근에서는 등수위선의 형태가 해안선과 유사함을 알 수 있다. 또한 동수경사도 해안 부근에서는 더욱 증가함을 알 수 있다. 이는 해수쐐기의 존재로 인하여 담수층의 두께가 감소하기 때문이다.

유역별 경계면 분포는 그림 6에 도시하였다.

각 유역별 동수경사의 변화를 그림 7에 도시하였다. 그림에서 나타나는 바와 같이 동수경사는 상류에서는 거의 일정하게 유지되고 있으나 해안으로 접근함에 따라 해안선의 형태에 따라 크게 변화하는 것을 알 수 있다 (표 4). 따라서 유출량을 계산할 때 해안선의 형태를 고려하지 않으면 큰 오차가 발생할 수 있음을 보여준다.

3.3 해안선의 형태가 무시된 해안유출량

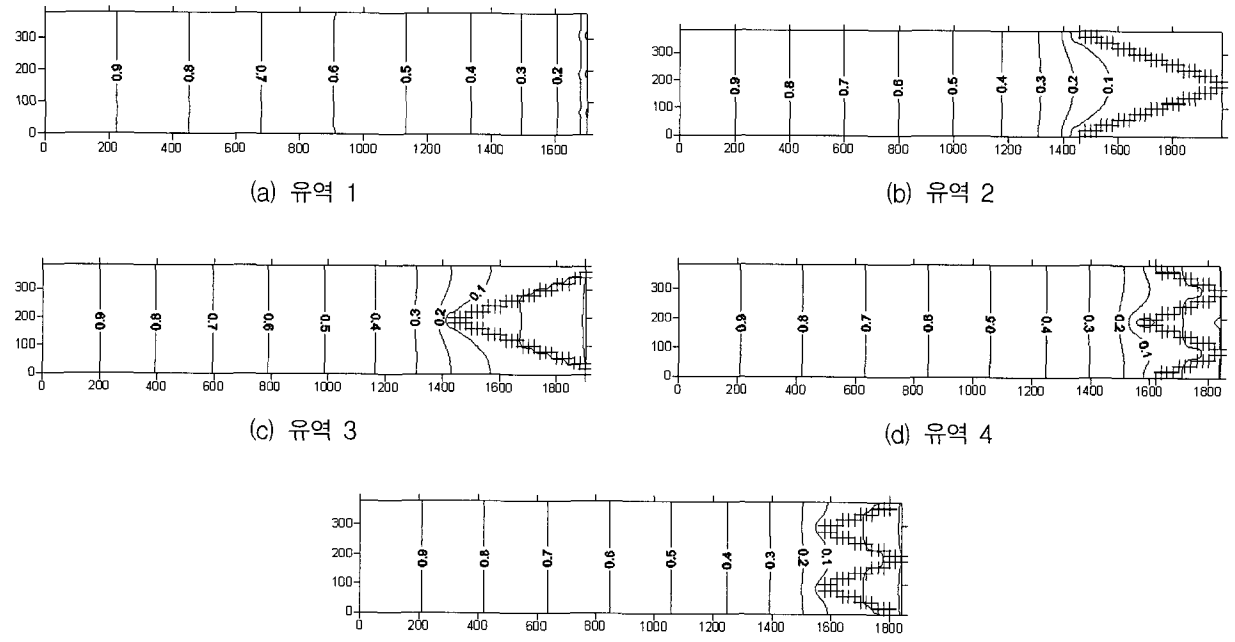
본 연구에서 제안하고 있는 보완된 평가기법의 필요성을 입증하기 위하여 홍성훈 등(2003)이 울진군에 적용한 평가기법을 해안선이 복잡한 위의 예제에 적용하였다. 여기서 가상의 관측정을 다음 3가지 경우에 대하여 가정하였다. 처음 두 가지 가정은 해안으로부터 각기 다른 거리에 위치한 단일 관측정을 사용하는 경우이고 세 번째 가정은 두 개의 관측정을 사용하는 경우이다. 각 경우별 관측정 정보는 다음과 같다.

가정 1 : 관정(0.6m 수위선 위)과 평균 해안선을 이용해 동수경사를 결정.

가정 2 : 해안선에서 가장 가까운 관정(0.1m 수위선 위)과 평균 해안선을 이용해 동수경사를 결정. 그리고 0.1m 수위선의 평균위치에 있다고 가정.

표 3. 수치모델로 평가된 지하수 해안유출량

가상유역	유출량(m^3/d)
유역 1	43.81
유역 2	50.15
유역 3	50.53
유역 4	47.18
유역 5	47.23

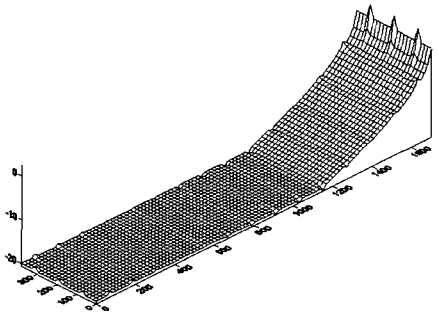


(a) 유역 1 (b) 유역 2

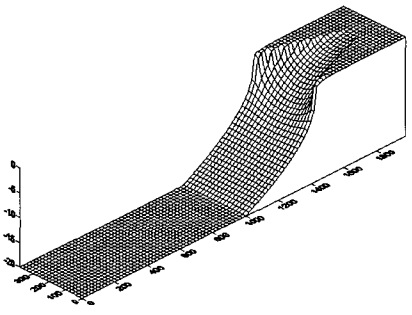
(c) 유역 3 (d) 유역 4

(e) 유역 5

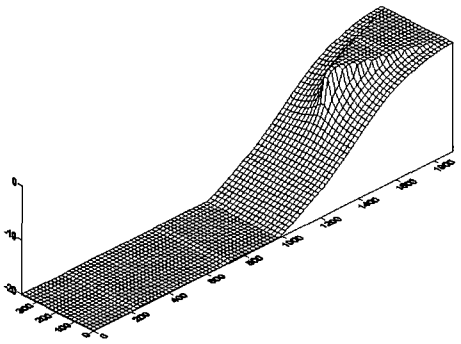
그림 5. 경우별 수두분포



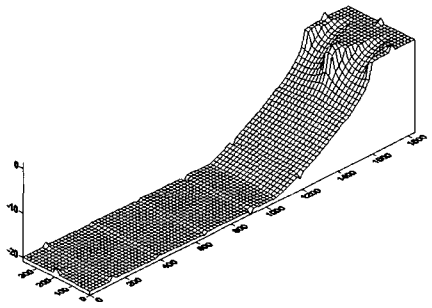
(a) 유역 1



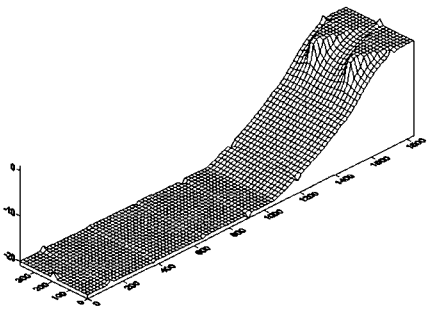
(b) 유역 2



(c) 유역 3



(d) 유역 4



(e) 유역 5

그림 6. 유역별 경계면 분포

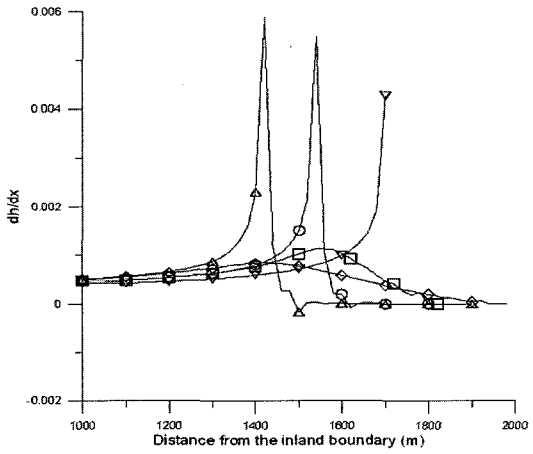


그림 7. 동수경사의 변화

(▽: 유역 1, ◇: 유역 2, △: 유역 3, ○: 유역 4, □: 유역 5)

표 4. 동수경사가 변하기 시작하는 위치

가상유역	내륙에서부터 거리(m)	해안선으로부터 거리(m)
유역 1	1160	540
유역 2	1020	960
유역 3	1020	880
유역 4	1080	760
유역 5	1080	760

가정 3 : 관정이 2개이고 이들을 이용해 동수경사를 결정(0.5, 0.6m 수위선 위).

각 경우에 대하여 산정된 해안 유출량과 오차를 표 5에 수록하였다. 해안유출량의 산정의 상대오차(%)는 다음과 같이 정의된다.

$$\epsilon = \frac{|Q_n - Q_c|}{Q_n} \times 100 \quad (5)$$

여기서 Q_n은 수치모델에서 계산된 유출량(정확한 해), Q_c는 홍성훈 등(2003)에서 제안된 방법으로 계산된 유출량이다.

표 5에서 지하수 해안유출량이 큰 것은 대수층의 경계면 및 수위 변화에 의한 동수경사의 변화를 고려하지 않았기 때문이다. 그리고 표 6도 경계면 변화보다는, 각각 경우의 0.1m 수위선 부근에서 동수경사의 급격한 변화가 있어 0.1m 수위의 정확한 위치를 파악하는데 어려움이 있어 그로 인해 오차가 매우 컸다. 표 7에서는 수치해와 거의 동일한 값이 나왔다. 그러므로 해안선이 복잡해도 해안선의 직접적인 영향을 받지 않는 내륙에 2개의 관정을 이용할 수 있다면 정확한 해안유출량을 얻을 수 있을 것이다.

그러나 2개의 관정을 이용할 수 있는 지역은 한정되어 있다. 즉 평가자가 2개의 관측정을 포함하도록 소유역을 구분한다면 소유역이 커지게 될 것이다. 그리하면 수리상수의 대표성의 불확실성이 증가하게 된다. 그러므로 수리상수의 오차를 최소화하기도 해야 하므로 소유역을 그것의 대표성이 잃지 않을 정도의 크기로 해야 한다. 따라서 한 개의 관측정만이 존재하는 경우에도 정확한 유출량을 평가할 수 있어야 한다.

앞에서 평가 한 것과 같이 해안선에 아주 가까운 관정은 경계면의 급격한 변화로 인해 유출량에 큰 오차가 발생할 수 있으므로 해안으로부터 어느 정도 떨어져 있는 관정을 사용해야 한다. 그리고 1개의 관정을 사용할 시에는 평균해안선의 위치를 다시 조정해야 하며, 경계면의 변화로 인한 동수경사의 변화 때문에 담수층의 두께를 다시 고려해야만 한다.

표 5. 내륙의 관측정 수위(가정 1)를 이용한 지하수 해안유출량

가상유역	0.6m 등수위선의 좌표(m)	평균 해안선까지의 거리(m)	해안유출량(㎥/d)	오차(%)
유역 1	900	800	74.8	70.8
유역 2	800	930	65.60	30.8
유역 3	790	890	67.27	33.1
유역 4	840	870	73.0	54.8
유역 5	840	880	69.33	46.8
			평균오차	47.26

표 6. 해안의 관측정 수위(가정 2)를 이용한 지하수 해안 유출량

가상유역	0.1m등수위선의 좌표(m)	해안선까지의 평균거리 (m)	해안유출량(㎥/d)	오차(%)
유역 1	1670	30	332.62	659.2
유역 2	1490	240	42.37	15.5
유역 3	1490	190	52.5	3.9
유역 4	1590	120	84.7	79.6
유역 5	1565	155	65.61	38.9
			평균오차	159.42

표 7. 두 개의 관측정 수위(가정 3)를 이용한 지하수 해안 유출량

가상유역	0.5-0.6m 등수위선 사이의 거리(m)	해안유출량(㎥/d)	오차(%)
유역 1	230	43.39	1.0
유역 2	200	49.89	0.5
유역 3	200	49.89	1.3
유역 4	220	45.36	3.9
유역 5	220	45.36	4.0
		평균오차	2.14

3.4 해안선의 형태를 고려한 해안유출량

본 연구에서 제안된 평균동수경사와 평균 담수층 두께를 결정하는 방법을 전술된 가상 유역에 적용하고 평가결과를 표 8에 제시하였다. 여기서는 단일 관측정을 가정하였으며 관측정의 수두가 0.3m에서 0.9m까지 7가지의 경우에 대하여 유출량을 계산하였다. 표 9에는 평가결과의 상대오차를 제시하였다.

표 9는 관측정이 해안에서 멀리 떨어질수록 해안유출량의 오차가 감소함을 보여준다. 그러나 실제 현장에서는 관측정이 해안에서 너무 멀리 떨어져있고 그 사이에 양수정이 있으면 동수경사 등이 교란되고 투수계수의 대표성에 문제가 생길 수 있다. 따라서 해수쐐기가 존재하지 않으며 해안에 가까운 지역의 관측정을 이용하는 것이 바람직하다. 0.6m의 관측 수위를 사용한 기존의 방법(표 5)과 비교하면 오차가 47%에서 11%로 4배 이상 감소한 것을 보여준다. 이는 본 연구에서 제안된 방법이 유효함을 보여주는 것이다.

표 8. 평균동수경사와 평균담수층 두께를 이용한 지하수 해안유출량

관측정의 수위 / 가상유역	해안유출량 평가결과 (㎥/d)							수치해석 결과(㎥/d)
	0.3m	0.4m	0.5m	0.6m	0.7m	0.8m	0.9m	
유역 1	40.82	42.02	43.77	42.59	43.18	43.22	43.24	43.81
유역 2	29.45	35.48	40.24	42.59	44.02	44.99	45.68	50.15
유역 3	25.30	31.93	36.69	40.14	41.97	43.56	44.43	50.53
유역 4	31.51	36.29	40.24	41.58	42.77	43.56	44.12	47.18
유역 5	27.63	33.26	37.80	39.69	41.20	42.22	42.96	47.23

표 9. 평가결과의 상대오차 (%)

관측정의 수위 / 가상유역	0.3m	0.4m	0.5m	0.6m	0.7m	0.8m	0.9m
유역 1	6.82	4.09	0.09	2.78	1.44	1.35	1.30
유역 2	41.28	29.25	19.76	15.07	12.22	10.29	8.91
유역 3	49.93	36.81	27.39	20.56	16.94	13.79	12.07
유역 4	33.21	23.08	14.71	11.87	9.35	7.67	6.49
유역 5	41.50	29.58	19.97	15.96	12.77	10.61	9.04
평균오차	28.84	20.54	13.74	11.14	8.90	7.42	6.45

4. 결 론

본 연구에서는 선행 연구에서 제안된 지하수 해안유출량 평가기법의 적용성을 개선하였다. 선행연구에서 제안된 방법은 동해안과 같은 단순한 해안선에 대하여 적용하는 데에는 문제가 없으나 서해안이나 남해안과 같은 복잡한 해안선을 가진 유역에 적용할 때 큰 오차가 발생하였다. 본 연구에서는 다양한 형태의 해안선을 가진 가상 유역을 이용하여 평균동수경사와 담수층의 평균두께를 산정하는 방법을 제안하였으며, 수치모델을 이용하여 제안된 방법의 우수성을 조사하였다. 조사 결과 해안 유출량 평가에 두 개의 관측정을 이용하는 것이 가장 정확하였다. 한 개의 관측정 만이 사용 가능한 경우에는 본 연구에서 제안된 방법을 이용하면 유출량

평가의 오차를 크게 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 유사한 조건에서 해안선의 복잡성을 고려하지 않은 기법의 결과보다 오차를 1/4로 줄일 수 있었다. 본 연구에서 사용된 가상 유역의 해안선의 형태가 제한적이지만 실제 유역의 지하수 해안 유출량 평가의 정확도를 높이는 것이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2000학년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

이대근, 김형수, 박찬석, 원종호, 김규범 (2002). "거제도 해안유출 지하수 예비조사 및 활용방안 연구." **한국지하수토양환경학회 추계학술대회**, 한국지하수토양환경학회.

홍성훈, 한수영, 박남식 (2003). "해안지역의 지하수 개발가능량 평가." **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제23권, 제3B호, pp. 201-207.

Burnett, W.C., Kim, G, Lane-Smith, D. "A continuous monitor for assessment of 222Rn in the coastal ocean." J. of *Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 29, No. 1, pp.167-172.

Burnett et al. (2002). "Assessing Methodologies for measuring groundwater discharge to the ocean." *EOS Trans*, AGU, Vol. 83, No. 11, pp. 117-122.

Cherkauer, D.S., and Taylor R.W. (1990). "The spatially continuous determination of groundwater flow to surface water bodies: application to the connecting channels between Lakes Huron and Erie." *J. of Hydrology*, Vol. 114, pp.349-369.

Cherkauer, D.S., and McKereghan P.F. (1991). "Ground-Water Discharge to Lakes: Focusing in Embayments." *Ground Water*, Vol. 29, No. 1, pp.72-80.

Giblin, A.E., and Gaines A.G. (1990). "Nitrogen inputs to a marine embayment: the importance of groundwater." *Biogeochemistry*, Vol. 10, pp.309-328.

Huyakorn, P. S., N.S. Park., and Y. S. Wu. (1996). "Multi-phase approach to the numerical solution of a sharp-interfaces saltwater intrusion problem," *Water Resources Research*, Vol. 32, No. 1, pp.93-102.

Kim, G, Burnett, W, Dulaiova, H., Swarzenski, P.W., and Moore. "W.S. Measurement of 224Rn and 226Ra activities in natural waters using a radon-in-air monitor." *Environ. Sci. Technol.* Vol. 35, pp.4680-4683.

Oberdorfer, J.A., Valentino, M.A., and Smith S.V. (1990). "Groundwater contribution to the nutrient budget of Tomales Bay." *California, Biogeochemistry* Vol. 10, pp.199-216.

Rona, P.A., Jackson, D.R., Bemis, K.G., Jones, C.D., Mitsuzawa, K., Palmer, D.R., and Silver, D, (2002). 'Acoustic advances Study of sea floor hydrothermal flow,' *EOS, Transactions*, AGU, 83(44), p 497.

Sellinger, C.E. (1995). "Groundwater Flux into a portion of Eastern Lake Michigan." *J. Great Lakes Res.* Vol. 21, No. 1, pp.53-63.

Shaw R.D., and Prepas, E.E. (1990). "Groundwater-Lake interactions: I. Accuracy of seepage meter estimates of lake seepage." *J. of Hydrology*, Vol. 119, pp.105-120.

Top, Z., Brand, L.E., Corbett, R.D., Burnett, W. and Chanton, J. (2001). "Helium and Radon as tracers of groundwater input into Florida Bay." *J of Coastal Research*, Vol. 17, No.4, pp.859-868.

(논문번호:04-37/접수:2004.04.06/심사완료:2004.10.04)