

해안지역 지하수유출량의 평가

I. 주요하천권역별 지하수유출량

Estimation of Groundwater Discharge in Coastal Area

I. Coastal Groundwater Discharge from the Major River District

배상근*, 김용호**, 박남식***

Sang Keun Bae, Yong Ho Kim, Nam Sik Park

요 지

해안지하수유출량의 평가는 물수지분석에 있어 불확실성이 큰 요인인 지하수 함양량에 대한 정밀도를 높일 수 있으며 해안지역의 수자원 개발가능량의 근거를 제시 할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 해안지역의 지하수유출량 평가를 위하여 지하수기초조사보고서와 광역지하수보고서를 이용하여 지하수유출량 산정을 위한 기초자료를 수집하고 이를 바탕으로 정밀지하수해안유출량 및 주요하천권역별 지하수해안유출량을 산정하였다. 전국의 해안지역 중 낙동강권역, 영산강-섬진강권역, 금강권역의 지하수기초조사사업이 수행된 지역을 대상으로 지하수 및 대수층특성자료에 대하여 지하수기초조사보고서를 중심으로 조사하고 Darcy의 법칙을 적용하여 연안구역의 정밀 지하수해안유출량을 산정하였다. 지하수기초조사가 수립되지 않은 지역은 광역지하수조사보고서를 이용하여 지하수해안유출량을 산정하고 이를 정밀지하수해안유출량과 통합하여 주요하천권역별 지하수해안유출량을 평가하였다.

핵심용어 : 지하수해안유출량, Darcy의 법칙, 주요하천권역별 지하수유출량

1. 서론

지하수해안유출량의 평가는 해안지하수 흐름 연구의 한 분야로서 물수지분석의 불확실성에 있어서 큰 요인인 지하수 함양량에 대한 정밀도를 높일 수 있다. 지하수 함양량은 물수지 분석, 지하수위 변동량 분석, 또는 하천의 기저유출량 분석 등 다양한 방법으로 평가되고 있으며 이 중 하천의 기저유출량분석으로 평가하는 방법이 주로 사용되고 있다. 그러나 하천 기저유출량분석에는 해안으로 유출되는 지하수량이 누락되기 때문에 이를 근거로 산정한 지하수 함양량은 과소평가 될 수 있으므로 본 연구의 성과를 적용할 경우 수문 분석의 정확도를 한층 높일 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 지하수의 해안유출량에 대한 평가가 이루어지면 해안지역의 지속적인 수자원개발의 예측이 가능하고 해안지역의 무분별한 관정개발을 억제할 수 있을 뿐만 아니라 해안/도서지역의 부족한 용수가 바다로 유출되어 낭비되던 지하수를 활용하여 해안지역의 인근에서 개발하므로 수자원 개발비를 절감할 수 있는 등 해안지역 수자원의 적정관리에 활용되어지며 해안지역 수자원 개발가능량을 제시할 수 있는 근거를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

지하수해안유출량평가에 관한 연구는 국외의 경우 해안지역의 지하수개발량평가 및 지하수해안유출량 산정을 위한 다양한 형태의 연구가 수행되어졌다. 이에 반해 국내의 경우에는 소규모지역을 대상으로 지하수수치해석모델을 이용하거나 해안유출 지하수 개발 가능성에 대한 검토에 그치는 예가 대부분이며 우리나라 전

* 정회원-계명대학교 토목공학과 교수-E-mail : skbae@kmu.ac.kr

** 정회원-계명대학교 토목공학과 박사수료-E-mail : kimyhsh@kmu.ac.kr

*** 정회원-동아대학교 토목-해양공학부 교수-E-mail : nspark@dau.ac.kr

해안지역에 대한 정밀한 평가는 부족한 실정이다. 근래에 들어 대권역을 대상으로 수치해석모델과 함께 해당 지역의 지하수위관측자료와 대수층특성을 분석하여 지하수해안유출량을 평가하는 연구가 진행되어졌으며 세분화된 연안유역을 대상으로 하는 지하수해안유출량의 정밀평가가 이루어지고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이러한 지하수해안유출량평가에 관한 연구에 사용된 기법 중 Darcy의 법칙을 기반으로 하는 평가기법을 이용하여 지하수기초조사 및 광역지하수조사사업에 의하여 확보된 자료를 근거로 낙동강, 영산강/섬진강, 금강권역에 대한 지하수해안유출량을 평가하였다.

2. 평가 대상 지역

권역별 지하수해안유출량을 산정하기 위하여 대상 지역을 선정하였다. 본 연구에서 적용된 지하수해안유출량산정 기법은 Darcy의 법칙을 기반으로 하는 방법이다. Darcy의 법칙을 활용하기 위해서는 지하수위관측자료, 투수계수, 해안선의 길이 대수층의 두께 등이 필요하다. 이러한 기초자료를 확보할 수 있는 지역은 지하수에 대한 체계적인 조사가 이루어진 지역이다. 현재 한강권역을 제외한 낙동강, 영산강/섬진강, 금강권역에 대한 광역지하수조사가 수행되었으며, 울진, 영덕, 포항, 부산, 고흥, 강진, 해남, 영암, 함평, 군산, 서천 등의 11개 시·군에 대한 지하수기초조사가 이루어진 상태이다. 따라서 본 연구에서는 낙동강, 영산강/섬진강, 금강권역을 대상으로 지하수해안유출량의 정밀평가를 수행하였다. 그림 1은 지하수기초조사지역과 지하수해안유출량산정 대상 권역을 나타내고 있다.



그림 1. 대상지역

3. 지하수해안유출량 산정이론

지하수의 해안유출량평가를 위하여 여러 방법들이 적용되어졌다. Burnett 등(2001)은 침윤계를 이용하여 바다로 유출되는 지하수량을 직접측정 하였고 Top 등(2001)은 지하수에 용해되어 이동하는 추적자를 이용하여 광범위한 지역에 대하여 지하수 유출량을 추정하였으며 Rona 등(2002)은 음과를 이용하여 유체의 해저유출을 조사한 바 있다. 본 연구에 적용된 Darcy의 법칙은 Sellinger(1995), Cherkaure and Mckereghan(1991) 등에 의하여 지하수유출량산정에 이용되어졌다. 국내의 경우에는 소규모지역을 대상으로 지하수수치해석모델을 이용하거나 해안유출 지하수 개발 가능성에 대한 검토에 그치는 예가 대부분이며 우리나라 전 해안지역에 대한 정밀한 평가는 부족한 실정이다. 근래에 들어 박남식 등(2003), 한수영 등(2006)에 의하여 대권역을 대상으로 수치해석모델과 함께 해당지역의 지하수위관측자료와 대수층특성을 분석하여 지하수해안유출량을 평가하는 연구가 진행되어졌다. 그리고 홍성훈 등(2003), 김용호 등(2005)에 의하여 지하수해안유출량산정을 위한 Darcy 법칙의 적용성 검증과 세분화된 연안유역을 대상으로 하는 지하수해안유출량의 정밀평가가 이루어졌다.

이와 같이 지하수의 해안유출량을 평가하는 방법에는 여러 가지가 있으며 본 연구에서는 선행 연구를 통하여 적용성과 타당성이 확인되어진 Darcy의 법칙을 적용하였다. Darcy의 법칙은 아래의 식과 같이 나타내어진다.

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

여기서, Q는 유량(지하수유출량), K는 투수계수, $i(dh/dl)$ 는 동수경사, A는 유출단면적으로 해안선의 길이와 대수층의 두께의 곱이다.

Darcy의 법칙을 적용하기 위해 필요한 변수는 투수계수, 대수층두께, 해안선길이, 관정으로부터 해안선까지의 거리, 그리고 지하수위 관측자료이다. 이들 변수 중 투수계수와 대수층의 두께는 광역지하수조사 및 지하수기초조사에서 각 지역별로 시험정을 통한 대수성시험과 현장조사 및 물리탐사 등을 통해 조사된 자료를 사용하였으며 지하수위는 관측정을 통한 관측자료를 사용하였다. 그리고 해안선의 길이와 관정으로부터 해안선까지의 거리는 수치지형도를 통한 측정값을 사용하였다. 이와 같이 본 연구에서는 각 지역별로 광역지하수조사 및 지하수기초조사의 내용을 근거로 기초자료를 구축하고 이를 Darcy의 법칙에 적용하여 지하수해안유출량을 산정하였다.

4. 권역별 지하수해안유출량의 평가

4.1 정밀지하수해안유출량의 산정

지하수기초조사가 이루어진 울진, 영덕, 포항, 부산, 고흥, 강진, 해남, 영암, 함평, 군산, 서천 등의 11개 시·군에 대하여 정밀 지하수해안유출량을 산정하였다. 이들 지역은 광역지하수조사에 비하여 보다 정도가 높은 자료를 확보할 수 있는 지역이므로 각 지역별로 지하수유출량산정을 위한 유역을 세분화하여 적용하였다. 지하수기초조사보고서를 통해서 기초자료를 수집하고 이를 Darcy의 법칙에 적용하여 연구대상지역에 대한 지하수해안유출량을 산정하였다. 이러한 방법으로 산정한 각 지역별 정밀지하수해안유출량은 표 1과 같다.

연구대상지역 중 서천과 군산은 하나의 지하수유동체계를 가진 지역으로 간주하여 유출량을 산정하였다. 표 1에 의하면 총 10개 지역 중 포항지역의 유출량이 110,136,200m³/year로 가장 큰 것으로 나타났으며, 함평지역의 유출량이 258,188m³/year로 가장 작은 값을 나타내었다. 이상의 결과에서 알 수 있듯이 지역에 따라 지하수 해안유출량은 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 포항, 부산, 영덕 등과 같이 유역의 면적이 크고 해안선의 길이가 길며 큰 하천의 하구에 위치한 지역인 경우에 지하수해안유출량이 많이 발생되는 것으로 나타났다.

표 1. 지역별 정밀지하수해안유출량

대상지역	유역면적 (km ²)	해안선길이 (m)	동수경사	년유출량 (m ³ /year)
울진	140.40	64,632	0.0125	71,208,629
영덕	229.19	50,392	0.0218	73,089,233
포항	452.20	89,937	0.0239	110,136,200
부산	327.60	101,216	0.0585	95,767,208
고흥	646.26	207,297	0.0074	30,240,242
강진	300.00	53,497	0.0112	730,781
영암	67.04	45,657	0.0172	413,737
해남	755.85	268,179	0.0133	52,169,035
서천/군산	303.54	100,562	0.0084	2,999,409
함평	105.10	20,152	0.0094	258,188

4.2 주요하천권역별 지하수해안유출량의 산정

본 연구의 대상지역 중 지하수기초조사가 이루어진 지역을 제외한 나머지 지역은 광역지하수조사의 자료를 근거로 지하수해안유출량을 산정하였으며 이를 정밀 지하수해안유출량 산정결과와 권역별 지하수 해안유출량을 산정하였다. 표 2는 정밀지하수해안유출량과 이외의 지역에서 산정된 유출량을 통합하여 권역별로 지하수해안유출량을 평가한 결과이다.

표 2에 의하면 낙동강 권역의 지하수해안유출량은 1,011,353,544m³/year인 것으로 나타났으며 영산강/섬진강 권역의 지하수해안유출량은 1,011,353,544m³/year, 금강 권역의 지하수해안유출량은 104,842,211m³/year인 것으로 나타났다. 산정된 지하수해안유출량은 각 권역별로 낙동강권역이 1,011,353,544m³/year, 영산강-섬진강 권역이 273,801,550m³/year, 금강권역이 104,842,211m³/year이다.

이들 값을 해당유역의 연평균강수량과 비교하였으며 그 결과는 표 3과 같다. 해당권역의 총연해안유출량을 총연평균강수량과 비교한 결과 낙동강권역은 2.78%, 영산강-섬진강권역은 1.10%, 금강권역은 0.57%의 양

이 해안을 통해 유출되는 것으로 나타났다.

표 2. 주요하천권역별 지하수해안유출량

권역	지역	투수계수 (m/day)	대수층두께 (m)	해안선길이 (m)	동수경사	해안유출량 (m ³ /day)	해안유출량 (m ³ /year)
낙동강	울진	8.5694	19.36	64,632	0.0190	195,092	71,208,629
	영덕	8.2939	20.52	50,392	0.0299	200,244	73,089,233
	포항	9.3465	35.82	89,937	0.3296	301,743	110,136,200
	부산	2.0613	89.68	101,216	0.0520	262,376	95,767,208
	경주	62.7020	9.58	39,250	0.0576	933,716	340,806,419
	울산	37.8939	7.82	47,500	0.0045	72,583	26,492,873
	진해	129.2890	5.20	26,880	0.0054	231,406	84,463,221
	창원	344.2308	5.20	6,250	0.0032	35,924	13,112,372
	마산	128.9411	5.33	26,250	0.0236	477,004	174,106,429
소계	고성	27.4832	6.30	27,750	0.0075	40,304	14,710,868
	사천	18.3313	11.76	31,880	0.0043	20,439	7,460,092
소계				511,937		2,770,831	1,011,353,544
영산강/ 섬진강	영암	0.0973	19.38	45,657	0.0186	1,134	413,737
	해남	1.8739	48.89	268,179	0.0166	142,929	52,169,035
	강진	0.0644	30.98	53,497	0.0140	2,002	730,781
	고흥	1.1777	56.89	207,297	0.0158	82,850	30,240,242
	함평	0.6211	43.94	20,152	0.0149	707	258,188
	부안	61.7940	6.30	50,250	0.0047	87,756	32,030,890
	고창	30.7700	6.50	32,090	0.0050	32,692	11,932,585
	영광	53.9188	11.56	29,910	0.0069	110,823	40,450,293
	무안	30.7700	6.50	23,130	0.0026	8,961	3,270,915
	장흥	58.3300	6.00	33,250	0.0126	136,073	49,666,546
	보성	58.3300	6.00	30,380	0.0596	63,427	23,150,986
	순천	58.3300	6.00	14,750	0.0006	2,843	1,037,607
소계	광양	58.3300	6.00	18,380	0.0012	6,825	2,491,222
	하동	58.3300	6.00	7,250	0.0280	71,119	25,958,523
소계				834,172		750,141	273,801,550
금강	서천/군산	0.4213	29.57	100,562	0.0095	8,218	2,999,409
	당진	10.7700	9.90	33,750	0.0048	11,981	4,373,217
	서산	14.3700	8.74	36,250	0.0257	122,657	44,769,683
	태안	10.7700	9.90	10,750	0.0471	32,153	11,735,992
	홍성	19.1700	7.20	15,750	0.0079	17,327	6,324,399
	보령	22.1100	6.38	36,130	0.0193	90,628	33,079,338
	부안	24.5600	5.70	9,880	0.0031	4,274	1,560,173
소계				243,072		287,238	104,842,211
계				1,589,181		3,808,210	1,389,997,305

표 3. 해안유출량/강수량

권역	낙동강	영산강-섬진강	금강
연평균강수량(mm)	1,144.8	1,327.6	1,271.6
유역면적(km ²)	31,776.0	18,810.0	14,470.1
총연해안유출량(m ³ /year)	1,011,353,544	273,801,550	104,842,211
총연평균강수량(m ³)	36,377,164,800	24,972,156,000	18,400,179,160
유출량/강수량(%)	2.78	1.10	0.57

5. 결론

우리나라의 해안지역 중 낙동강, 영산강/섬진강, 금강권역의 지하수해안유출량을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지하수기초조사지역을 대상으로 정밀 지하수해안유출량을 산정한 결과, 산정 지역 중 포항지역의 지하수 해안유출량이 110,136,200m³/year로 가장 큰 것으로 나타났으며, 함평지역의 지하수해안유출량이 258,188m³/year로 가장 작은 값을 나타내었다.
2. 광역지하수조사와 지하수기초조사를 이용하여 산정한 각각의 결과를 통합하여 권역별 해안유출량을 평가한 결과, 산정된 지하수해안유출량은 각 권역별로 낙동강권역이 1,011,353,544m³/year, 영산강/섬진강권역이 273,801,550m³/year, 금강권역이 104,842,211m³/year이다.
3. 해당유역의 강수량과 비교하면, 총강수량 중 낙동강권역은 2.78%, 영산강-섬진강권역은 1.10%, 금강권역은 0.57%의 양이 해안을 통해 유출되는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술 개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-3-2)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김용호, 배상근, 박남식(2005). 부동산구의 해안지하수유출량, 2005년도 한국수자원학회 학술발표회 논문집, p. 248.
2. 박남식, 홍성훈, 심명근, 한수영(2003). 해안지역 지하수 개발의 필요성과 개발 가능성, 한국수자원학회지, 제36권, 제1호, pp. 99-106.
3. 한수영, 홍성훈, 박남식(2006). 권역별 충적층 지하수의 해안유출량 분포, 대한토목학회논문집, 제26권 제1b호, pp. 1-6.
4. 홍성훈, 한수영, 박남식(2003). 해안지역의 지하수 개발가능량 평가, 대한토목학회논문집, 제23권, 제3B호, pp. 201-207.
5. Burnet, W.C., Taniguchi M. and J. Oberdorfer(2001). Measurement and Significance of the Direct Discharge of Groundwater into the Coastal Zone, Journal of Sea Research, Elsevier, Vol. 46, pp. 109-116.
6. 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.
7. Rona, P.A., Jackson, D.R., Bemis, K.G., Jones, C.D., Mitsuzawa, K., Palmer, D.R., and Silver, D., Eos(2002). Transactions, American Geophysical Union, Vol.83, No. 44, pp. 497.
8. Sellinger, C.E.(1995). Groundwater Flow into a Portion of Eastern Lake Michigan, Journal of Great Lakes Research, Vol. 21, No. 1, pp. 53-63.
9. 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, Journal of Coastal Research, Vol. 17, No. 4, pp. 859-868.