

해안유역의 지하수 함양을 평가기법

박 남 식(동아대학교 토목공학과 교수)

한 수 영(동아대학교 토목공학과 수자원시스템연구실 석사과정)

제 1 장 서 론

제1절 연구 목적 및 필요성

제 2 장 연구 내용 및 방법

제1절 지하수 물수지 분석

제2절 지하수 해안유출량

제3절 선행연구

제4절 Darcy의 법칙을 이용한 지하수 해안 유출량 평가

제 3 장 적용사례

제1절 시범 유역의 현황

제2절 지하수 해안 유출량

제3절 울진군 유역의 지하수 함양량 평가

제 4 장 결론 및 향후 연구방향

참 고 문 헌

제1장 서론

제1절 연구 목적 및 필요성

본 연구의 목적은 해안 유역의 지하수 함양율을 평가하는 기법을 제시하는 데 그 목적이 있다.

해안 유역에서 이용되는 수자원 중에서 지하수가 차지하는 비중은 내륙에 소재한 유역의 지하수 비중에 비하여 더욱 크다. 해안지역의 급수율은 전국 평균 급수율의 절반에도 미치지 못하는 40%대로 나타났으며, 해안지역 1인당 지하수 이용량은 전국 평균의 4배에 달하는 261 m³로 조사되었다(홍성훈 외, 2003). 또한 94년과 96년에 발생한 10~15년 재현기간의 가뭄 시 대부분의 해안지역이 제한급수지역에 포함된 바 있다(건설교통부, 2001). 2011년의 예측된 수요를 기준으로 10년 빈도 가뭄이 닥치면 용수부족 예상지역의 대부분은 해안지역을 중심으로 발생할 것으로 전망되고 있다. 이는 해안 지역에 대한 용수공급이 원활하지 못함을 의미한다. 따라서 용수의 지하수 의존도가 높은 해안유역에서는 지하수의 최적관리의 필요성이 다른 유역에 비하여 높다. 최적관리를 위해서는 지하수 함양율의 정확한 평가가 선행되어야 한다.

제2장 연구 내용 및 방법

제1절 지하수 물수지 분석

지하수 함양량을 평가하는 방법 중에 물수지 분석 방법이 있다. 물수지 분석 방법의 기본식은 검사체적에 적용된 연속방정식으로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{유입량} = \text{유출량} + \text{저류량의 증가량}$$

여기서 검사체적은 물수지 분석을 적용하는 대상 지역이 된다. 위 식의 각 성분은 여러 가지 요소로 세분될 수 있다. 지하수 유입량은 다음과 같이 구분될 수 있다.

$$\text{지하수 유입량} = \text{경계를 통한 유입량} + \text{함양량}$$

지하수 유출량은 다음과 같이 구분된다.

$$\text{지하수 유출량} = \text{경계를 통한 유출량} + \text{하천/저수지 기저유출량} + \text{지하수 이용량} + \text{증발산량}$$

그러면 지하수 함양량은 다음과 같이 다섯 항으로 나타난다.

$$\text{지하수 함양량} = \text{하천/저수지 기저유출량} + \text{지하수 이용량} + \text{증발산량} + \text{저류량의 증가량} + \text{경계를 통한 순 유출량}$$

여기서

$$\text{순 유출량} = \text{경계를 통한 유출량} - \text{경계를 통한 유입량}$$

하천/저수지 기저유출량은 샘 등을 통한 용출량을 포함하는데 대부분 지표수 유량측정을 통하여 상대적으로 간단하게 측정될 수 있다. 증발산량은 대부분이 불포화층에서 발생한다. 따라서 지하수 함양을 지표면을 통과하는 강수가 아니고 지하의 포화 지하수면에 도달하는

물이라 정의하면 증발산량은 무시될 수 있다. 지하수 이용량 역시 다른 요소들에 비하여 측정이 수월하다. 저류량의 변화량은 대상 기간 동안의 지하수위 변화로부터 산정될 수 있다. 물수지 분석 대상 기간을 1년으로 하면 저장량의 변화량의 평균은 0으로 취급할 수 있다.

물수지 분석을 통하여 지하수 함양량을 계산하는데 있어 가장 큰 오차는 경계를 통한 순 유출량이다. 대부분의 경우 물수지 분석 대상 지역은 지하수 유역인데 일반적으로 지표수 유역과 동일한 것으로 가정된다. 지표수 유역의 경우 대부분의 유역 경계는 분수령으로 물의 유출입이 없다. 단지 하천이 유역의 경계를 관통하면 그 지점에서 물의 유출입이 발생한다.

일반적으로 지하수위는 지표표고와 상관관계가 있는 것으로 나타난다. 즉 지표표고가 높은 곳에서는 지하수위가 높게 형성된다. 따라서 지표수 분수령을 지하수 분수령으로 가정하는 것은 합리적이라고 생각된다. 그러나 지표수 유출입 경계에서는 지하수 유출입량이 존재하므로 고려되어야 한다. 그런데 유역 경계에서 유출입량이 고려된 물수지 분석 연구결과는 알려진 것이 없다.

그런데 하천/저수지 기저유출량은 지표수로 환원된 지하수이며 갈수기 하천 유지용수를 공급하는데 필요한 수량이므로 지하수 개발 가능량으로 볼 수 없다. 따라서 하천 기저유출량을 이용하여 지하수 함양량을 평가하거나 적정개발량을 평가한 기존의 연구 결과는 결과적으로 잠시 지하수의 형태를 띤 지표수를 지하수 개발가능량 또는 지하수 적정개발량으로 취급하는 논리적 한계를 가지고 있다. 그러므로 수자원 관리의 관점에서는 지하수로 취급하는 것이 불합리하다. 따라서 기저유출량을 이용 가능한 지하수에서 제외시킨 유효지하수 함양량은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\text{유효지하수 함양량} = \text{지하수 이용량} + \text{증발산량} + \text{저류량의 증가량} + \text{경계를 통한 순 유출량}$$

해안 유역의 경우에는 유역의 하류에 바다가 존재하므로 유역의 하류경계(즉, 해안선)를 통한 유출량을 구하는 것이 상대적으로 용이하다. 상류경계가 분수령으로 이루어진 해안 유역의 경우에 증발산량을 무시하면 연간 지하수 함양량과 유효지하수 함양량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\text{해안유역의 지하수 함양량} = \text{하천/저수지 기저유출량} + \text{지하수 이용량} + \text{지하수 해안 유출량}$$

$$\text{해안유역의 유효 지하수 함양량} = \text{지하수 이용량} + \text{지하수 해안 유출량}$$

제2절 지하수 해안유출량

함양지역에서 유입된 지하수는 유출지역을 통하여 유출된다. 유출이 일어나는 지역으로 하천, 저수지 등이 알려져 있으며 물수지 분석 등에서 하천의 갈수기 유량을 이용하여 지하수 함양량을 평가한 연구도 있다. 그러나 하천이나 저수지 외의 지역에서도 지하수 유출이 일어난다. 지표수가 최종적으로 도달하는 곳이 바다이듯이 지하수도 최종적으로 바다에 도달한다. 즉, 하천 뿐 아니라 지하수 유출은 해안선을 통해서도 발생한다(그림 2.2.1).

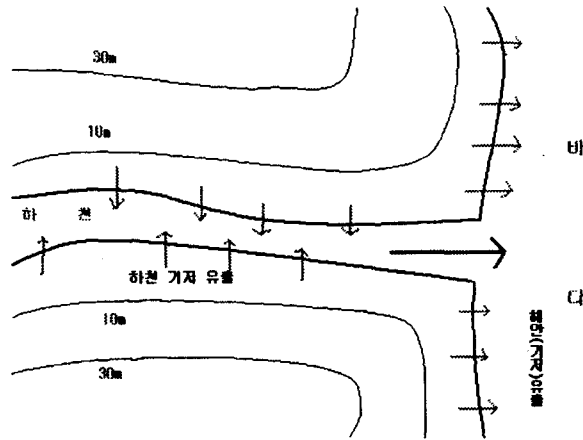


그림 2.2.1 해안 유출 개념도

지하수 해안유출은 수자원의 관점에서 다음의 두 가지의 중요성을 가지고 있다.

- 지하수 함양량 평가의 정확성을 높일 수 있다.
- 가용 수자원량을 추정할 수 있다.

지하수 해안 유출은 연안의 화학적/생물학적 질차에 영향을 미칠 수 있다. 물론 지하수 해

안유출의 영향은 주요하천의 영향보다 작을 것이 예상되지만 하천이 발달하지 않은 곳에서는 지하수 해안유출이 영향을 미칠 수 있다. 해양학(oceanography) 분야에서는 이에 대한 연구를 수행하고 있다.

하천 기저유출은 하천에서, 해안 유출은 해안에서 발생한다는 점을 고려할 때 그 수량은 하천길기와 해안선 길이를 비교함으로써 가늠해볼 수 있을 것이다. 우리나라 10대 하천의 유로연장은 약 1,540km이며 해안선의 길이는 11,500km로 보고되고 있다. 이 수치는 지하수 해안유출량을 무시할 수 있는 근거는 되지 못하며 상세한 조사를 필요로 함을 보여준다.

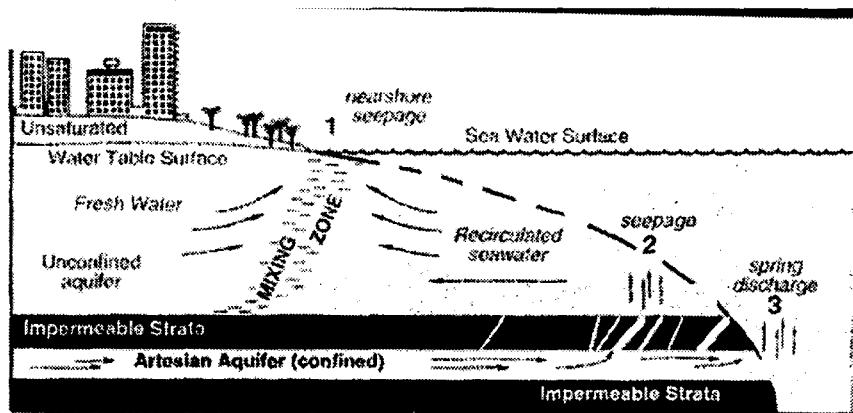


그림 2.2.6 해안 지역에서 지하수 흐름

제3절 선행연구

Burnett (2001) 등은 지하수 해안유출량을 평가하는데 Darcy의 법칙, 침윤계, 추적자법, 그리고 AST 방법 등이 사용될 수 있다고 보고하였다.

제1항 Darcy의 법칙

다공질 매질에서의 흐름률(flux)은 다음과 같은 Darcy의 법칙으로 나타낼 수 있다.

$$Q = KiA$$

투수계수(K)와 동수경사($i = dh/dx$)의 곱은 지하수 비유속을 나타내며 여기에 흐름 단면적(A)을 곱하면 흐름률(유량)이 된다.

제2항 직접 측정법

침윤계(seepage meter)는 해저를 통하여 바다로 유출되는 지하수 양을 측정하는 단순한 기구이다(Corbett 등, 2001). 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 매설하므로서 완성된다. 그러면 드럼통 부분으로 유출되는 지하수는 비닐주머니에 포획되므로 아래의 그림과 같은 방법으로 지하수 해안유출량을 측정할 수 있다.

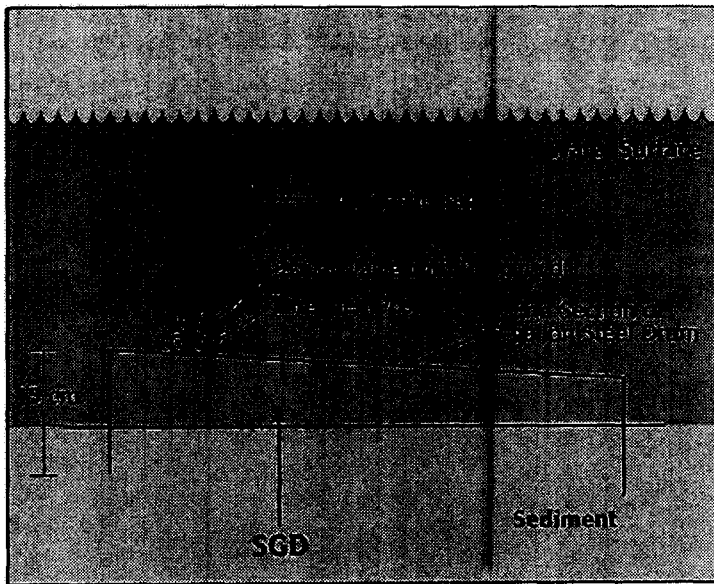


그림 2.7.1 직접 측정법

제3항 추적자법

추적자는 지하수에 용해되어 있는 자연적 혹은 인공적 물질이며 지하수의 흐름과 함께 이동한다. 지하수 해안유출량을 측정하는데 추적자를 사용한다면 추적자는 해수에서보다 지하

수에서 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-222(Kim et. al, 2001, Burnett et. al, 2001, Top et al, 2001))가 플로리다의 여러 곳에서 지하수 해안유출량을 추정하는데 이용되었다. 침윤계에 대한 추적자 방법의 중요한 이점은 광범위한 지역에 대한 통합적인 지하수 유출량의 추정이 가능하다는 것이다.

제4항 Acoustic Scintillation Thermography (AST)

위의 세 가지 방법 외에도 해양학 분야에서는 해저의 열유체 분출 현상을 음파를 이용하여 조사하는 방법이 제시된 바 있다 (Rona 등, 2002). 열유체의 분출은 밀도가 주변의 해수와 다르다는 점에서 지하수의 해안유출과 유사한 측면이 있다. 그러나 분출되기 전의 열유체는 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 열유체의 분출은 큰 운동량을 가지기 때문에 밀도 차이에 의한 부력의 영향은 상당 시간 후에 나타나게되지만 지하수 해안 유출량은 대부분의 경우 운동량이 미미하기 때문에 유출즉시 밀도 차이의 영향을 받는다. Rona 등이 제안한 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.

현재까지 조사된 지하수 해안 유출량에 대한 연구는 대부분 해양학자에 의하여 수행된 것으로 침윤계를 사용한 유출량의 직접 측정이나 추적자를 이용한 간접 평가가 주를 이루고 있다. 침윤계는 가장 확실한 방법으로 생각할 수 있으나 매우 지엽적이므로 대표성이 결여되어 있으며 또한 해저면을 통하여 유출되는 물이 100% 지하수로만 구성된 것이 아니기 때문에 정확성도 결여되어 있다. 바다로 유출되는 담수는 담수-해수 경계면 아래의 해수를 순환시키기 때문에 침윤계로 포획되는 물에는 담수와 해수가 섞여 있다. 추적자 방법은 사용되는 추적자에 따라 상이할 수 있으며, 바다에서 추적자의 3차원 농도분포를 측정하는 것이 쉽지 않으며, 추적자의 조류에 따른 이송 및 대기와의 교환 등이 불확실성을 일으킬 수 있다.

침윤계 방법과 추적자 방법에 공통적인 문제점은 비용이 매우 많이 든다는 것이다. 침윤계는 기기 자체는 단순하지만 이의 설치 및 자료 취득에 많은 노동력이 필요한 방법이다. 최근에는 자동화된 계측 방법이 고안되고 있으나 해안유출량 산정의 정확도를 높이는 데 획기적인 방법은 되지 않는다.

제4절 Darcy의 법칙을 이용한 지하수 해안 유출량 평가

전술된 바와 같이 지하수 해안유출량을 평가하는 가장 경제적인 방법은 Darcy 법칙의 적용이다.

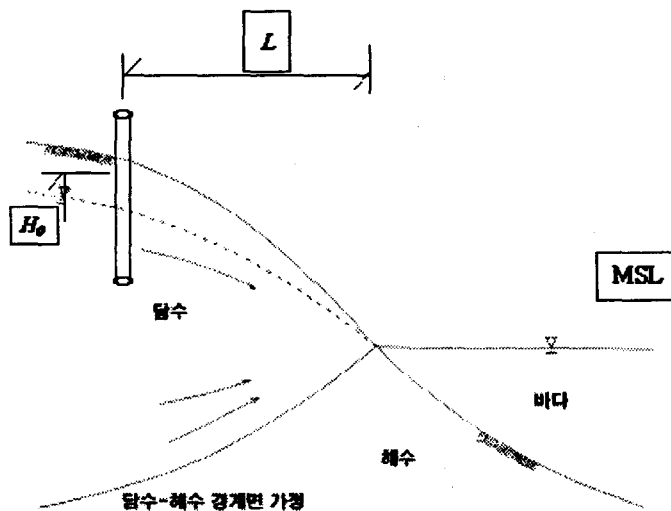


그림 2.4.1 CGD 모식도

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

여기서 K 는 투수계수, A 는 흐름 단면적, dh/dl 은 동수경사이다. 흐름 단면적은 대수층의 두께와 해안선 길이의 곱으로 생각할 수 있으나 해수채기가 존재하는 경우에는 대수층의 두께가 아니라 담수층의 두께를 사용해야한다. 즉, Darcy의 법칙에 근거한 지하수 해안유출량 산정 방법은 기초적인 수리매개변수들을 통하여 산정될 수 있다.

따라서 지하수 해안 유출량을 Darcy의 법칙으로 산정하려면 위에 나열된 변수에 대한 자

료가 필요하다. 위에서 중요한 요소는 동수경사인데 해안선에서 가까운 관정의 수위로부터 추정할 수 있다. 즉,

$$\frac{dh}{dl} \approx \frac{H_0}{L}$$

물론 수위 측정 용 관정이 해안선으로부터 멀리 있거나 관정과 해안선 사이의 대수층 구조에 변화가 크면 동수경사가 그 지역을 대표한다고 볼 수 없다. 따라서 해안 유출량의 평가를 위해서는 가급적 해안선에 가까운 지점의 지하수위를 사용하는 것이 필요하다.

제3장 적용사례

제1절 시범 유역의 현황

본 연구에서 제안된 방법을 경상북도 울진군 유역에 적용하였다. 한국수자원공사(1999)는 울진군의 지하수에 대한 정밀조사를 시행하였으며 본 연구에서는 상기 조사결과를 이용하여 지하수 함양율과 유효지하수 함양율을 평가하였다. 조사대상 지역인 울진군은 경상북도 최동북단에 위치하고 있으며, 북측은 강원도 삼척시 원덕읍에 접하고, 서측으로는 보화군 소천면에 접하며, 남측으로는 영덕군 병곡면에 접한다. 총면적은 1996년 12월말 현재 988.82km²이고, 경상북도 총면적의 약 5.2%이다. 그리고 태백산맥의 동쪽에 위치하며 서쪽은 태백산맥의 영향을 받아 입봉산과 일월산을 주산계로 형성된 험준한 지형을 이루고 이를 수원으로 하천은 서북쪽에서 동해로 유입되고 있는 서고동저형의 지세를 보인다. 도시와 경작지는 총적층이 분포한 서쪽에 많이 분포하고, 남부 내륙 지역의 도시는 온천 등의 개발에 의해 인위적으로 만들어 진 것이다. 연평균 기온은 12.4℃ ~ 12.7℃이며, 연평균 상대습도는 69%, 연평균 강수량은 1,042.3mm이고, 연평균 증발량은 소형 증발계 기준으로 볼 때 1,258.4mm이다.



그림 3.1.1 울진군 지역도

제2절 지하수 해안 유출량

암반 대수층과 충적층 대수층의 지하수 흐름 특성은 서로 상이하다. 특히 암반층 투수계수는 양수 시에 암반층 전체 두께에 대하여 산출되기 때문에 평균적으로 낮은 값을 가진다. 따라서 여기서는 암반대수층과 충적층 대수층의 유출량을 분리하여 산정하였다.

제1항층적층 CGD 평가

울진군의 해안선을 통하여 유출되는 총적층 지하수를 산정하기 위하여 울진군의 해안선을 21개의 소유역으로 분할하였다 (그림 3.2.1).



그림 3.2.1 총적층 CGD평가를 위한 소유역으로 분할한 도면의 일부

분할된 해안 구역에 대한 수리지질 자료를 산정하기 위하여 27개의 관정을 사용하였다. 그 중 2개의 소유역에서는 해안에 가까운 관정이 3개씩 밀집되어 있어 평균값을 내어 관정 수위를 계산하고 그것을 이용하여 동수경사를 구하였다. 그리고 투수계수와 대수층 두께를 결정하기 위해 조사 착정공 10개를 사용하였다. 7개 소유역은 2개의 조사착정공 사이에 위치하여 평균값을 사용하였다. 산정결과는 표 3.2.1과 그림 3.2.2와 같다.

표 3.2.1 울진군 소유역별 총적층 CGD 평가

소유역	대표공변	수리 및 산출 특성 대표공변	투수 계수 (m/d)	포화층 두께 (m)	동수 경사	해안선 길이 (m)	유출량 (m ³ /d)	길이당 유출량 (m ³ /d/m)
1	UJE2	UJE2	7.91	5.86	0.009	900	375	2.40
2	UJO11	UJE2와 UJE1의 평균	21.01	9.58	0.030	3,200	19,322	0.17
3	UJE1	UJE1	34.10	13.30	0.004	1,400	2,540	0.55
4	UJO8	UJE1	34.10	13.30	0.006	3,400	9,252	0.37
5	UJO34	UJE1와 UJE3의 평균	17.42	15.61	0.052	6,000	84,841	0.07
6	UJO83	UJE3	0.64	17.92	0.086	3,100	3,058	1.01
7	UJO84	UJE3	0.64	17.92	0.035	4,200	1,686	2.49
8	UJO82	UJE3	0.64	17.92	0.025	750	215	3.49
9	UJO81	UJE3과 UJE4의 평균	5.04	24.12	0.028	200	681	0.29
10	UJE4	UJE4	9.44	30.32	0.001	1,650	472	3.49
11	UJO15	UJE4와 UJE5의 평균	5.35	23.86	0.007	3,000	2,681	1.12
12	UJO94	UJE5, UJE6의 평균	2.61	15.20	0.008	4,800	1,523	3.15
13	UJO105	UJE6과 UJE7의 평균	4.42	15.10	0.012	6,300	5,046	1.25
14	UJO38	UJE7	4.88	17.12	0.010	2,000	1,671	1.20
15	UJO39	UJE7	4.88	17.12	0.010	1,500	1,253	1.20
16	UJE7	UJE7	4.88	17.12	0.003	6,100	1,529	3.99
17	UJO49	UJE8	2.37	18.37	0.014	1,300	792	1.64
18	UJO36	UJE8	2.37	18.37	0.011	500	239	2.09
19	UJO50, 48, 66, 61의 평균	UJE8	2.37	18.37	0.003	1,400	183	7.66
20	UJE9, UJO58, 57, 64의 평균	UJE9	2.36	10.91	0.003	9,500	734	12.95
21	UJO30	UJE9,10 의 평균	6.91	14.23	0.011	2,300	2,488	0.92

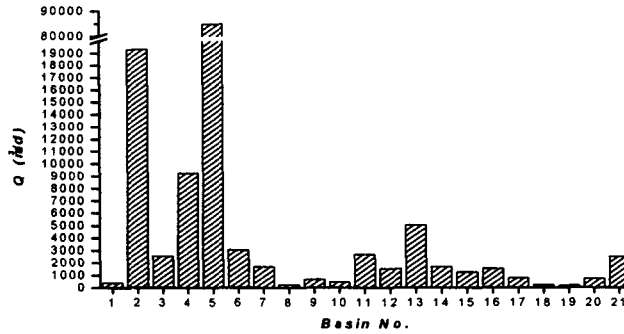


그림 3.2.2 울진군 소유역별 총적층 지하수 해안 유출량

소유역별 산정 결과를 이용하여 울진군 총적층 지하수 해안 유출량을 표 3.2.2에 제시하였다. 산정 결과 총적층에서의 연간 해안 유출량은 약 5천 백만 m^3 로 연강 강수량 대비 4.35%로 조사되었다.

표 3.2.2 울진군 총적층 지하수 해안 유출량 산정

울진군 연평균 강수량 (1977~1996)	1044.2mm
유역 면적	1130.52km ²
연간 강수량	1,180,489,000m ³
연간 해안유출량	51,312,065m ³
해안유출량/강수량	4.35%

제2항 암반층 CGD 평가

암반대수층에 대한 지하수를 산정하기 위하여 울진군의 해안선을 12개의 소구역으로 분할하였다 (그림 3.2.3). 분할된 해안 유역에 대한 수리지질 자료를 산정하기 위하여 12개의 관정을 사용하였다. 투수계수와 대수층 두께를 결정하기 위해 조사 측정공 10개를 사용하였다. 4개 소유역은 2개의 조사측정공 사이에 위치하여 평균값을 사용하였다. 산정결과는 표 3.2.3과 그림 3.2.4와 같다.

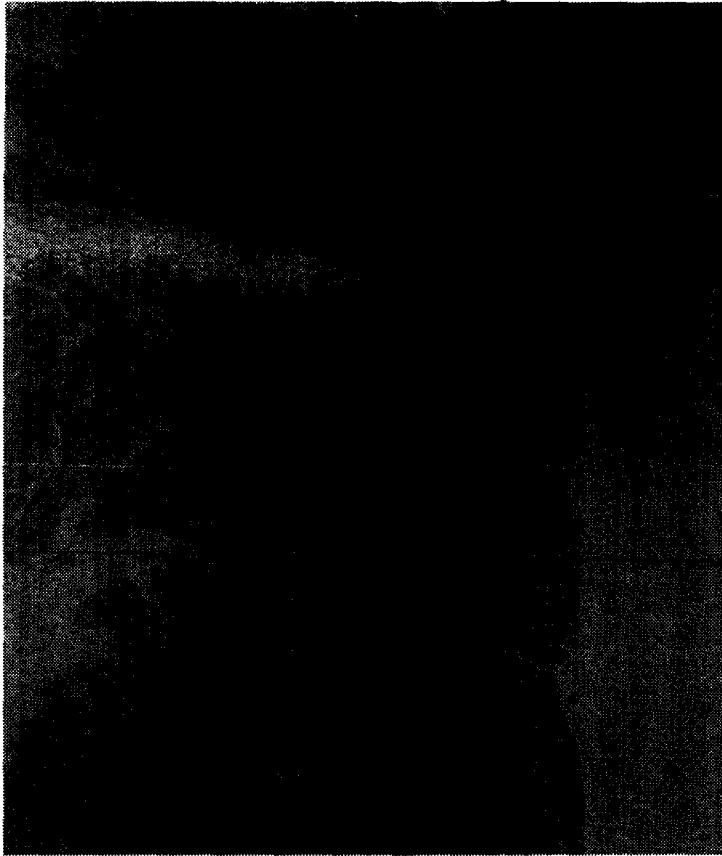


그림 3.2.3 암반층 CGD평가를 위한 소 유역으로 분할된
도면의 일부

표 3.2.3 울진군 소유역별 암반층 지하수 해안 유출량 산정

소유역	대표 공번	수리 및 산출 특성의 대표 공번	투수 계수 (m/d)	대수층 두께 (m)	동수 경사	해안선 길이 (m)	해안유 출량 (m ³ /d)
1	UJW34	UJE12	0.0207	59.43	0.0182	2,400	54
2	UJW31	UJE11과UJE12의 평균	0.1079	63.89	0.0159	1,800	197
3	UJW32	UJE11	0.1950	68.34	0.0019	3,200	81
4	UJW69	UJE11과 UJE13의 평균	0.1375	79.50	0.0145	5,700	905
5	UJW72	UJE11과 UJE13의 평균	0.1375	79.50	0.0094	5,000	515
6	UJW73	UJE13	0.0800	90.65	0.0094	5,100	349
7	UJW74	UJE13과 UJE14의 평균	0.0487	87.24	0.0001	3,800	2
8	UJW77	UJE14	0.0173	83.83	0.0010	3,500	5
9	UJW75	UJE15	0.0068	95.43	0.0333	6,100	132
10	UJW89	UJE16	0.0472	57.76	0.0141	8,200	315
11	UJW95	UJE17	0.0304	60.90	0.0176	11,400	372
12	UJE18	UJE18	0.0632	86.96	0.0093	7,300	373

울진군 전체에 대한 암반층 지하수 해안유출량과 강수량 대비 비율은 표 3.2.4에 제시하였다.

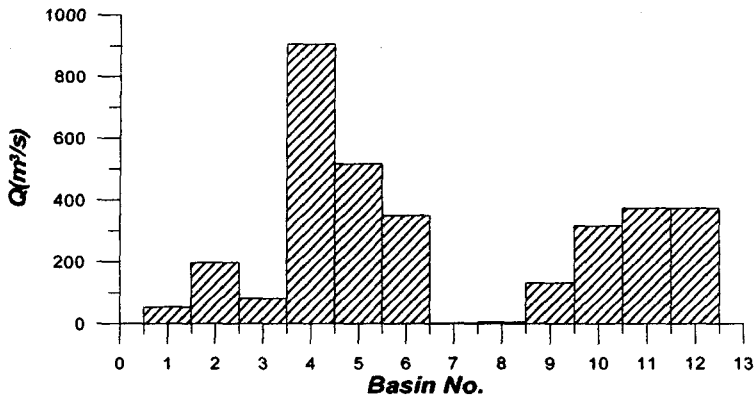


그림 3.2.4 울진군 소유역별 암반층 지하수 해안 유출량

암반층 지하수 해안 유출량 1,205,230m³/year 로서 강수량 대비 해안유출량은 강수량의 0.1%로 추정된다. 이는 충적층 지하수 해안유출량에 비하여 훨씬 더 작은 값이며 그 차이는 주로 투수계수의 크기 차이에 기인한다.

표 3.2.4 울진군 암반층 지하수 해안 유출량 산정

울진군 연평균 강수량 (1977~1996)	1044.2mm
유역 면적	1130.52km ²
연간 강수총량	1,180,489,000m ³
연간 해안유출량	1,205,230m ³
해안유출량/강수량	0.1%

제3항 충적층 지하수 해안유출량의 확률분포

상기 결과에는 여러 가지 불확실성이 내재되어 있다. 위의 계산과정에서 각 소유역의 포화층의 두께와 투수계수는 일정한 것으로 가정하였다. 먼저 산정에 사용된 수리매개변수들의 대표성을 확인할 수 없으며 소유역의 경우에는 유역의 크기에 비하여 조사 관정의 수가 적어 자료의 대표성에 의문을 품게 한다.

매개변수에 대한 불확실성이 지하수 해안 유출량에 산정 결과에 미치는 영향은 확률적 방법으로 판단할 수 있다. 본 연구에서는 이를 위하여 Monte Carlo 방법을 사용하였다. 이 방

법에서는 투수계수와 포화대의 두께를 확률 변수로 취급하고 다수의 포화층 두께와 투수계수를 무작위로 산정하고 그 결과로 유출량의 분포를 판단한다. 본 연구에서는 포화층의 두께와 투수계수의 확률분포를 기존의 자료로부터 산출하였다. 충전층 투수계수와 대수층 두께 자료의 분포를 도시하면 그림 3.2.5와 3.2.6과 같다.

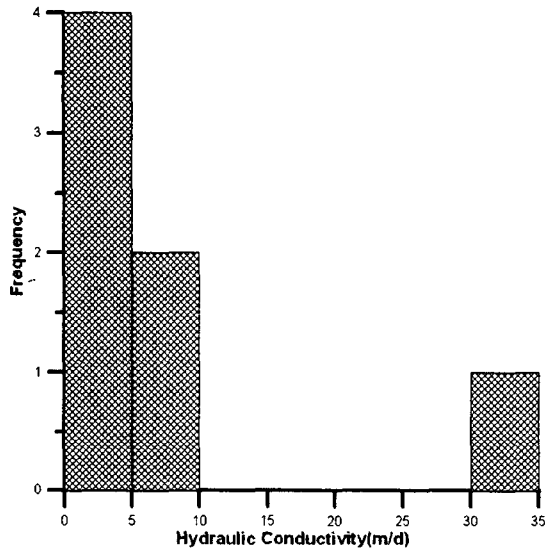


그림 3.2.5 투수계수의 확률분포

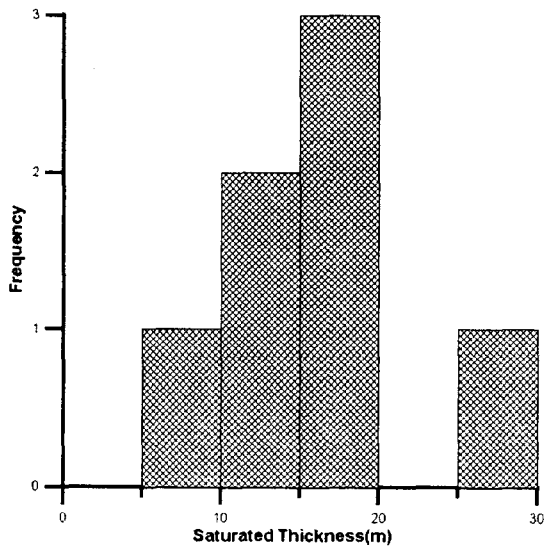


그림 3.2.6 대수층 두께의 확률분포

그림 3.2.5와 3.2.6의 분포가 유역에 대한 대표성을 가진다고 가정하고 투수계수와 대수층 두께를 각 1000개의 자료를 무작위로 도출하였다. 투수계수와 대수층 두께의 각 조합에 대한 유출량을 계산하고 크기 순으로 나열한 결과는 그림 3.2.7에 도시되었다. 전 절에 제시된 $140,600\text{m}^3/\text{d}$ 는 58.5% 순위의 값임을 나타내고 있다. 또한 해안 유출량이 75,000과 275,000 사이의 값을 가질 확률이 80%로 나타났다. 80%의 확률을 가지는 해안 유출량의 범위가 3배 이상의 차이를 보이는 것은 매개 변수의 범위가 크기 때문이다.

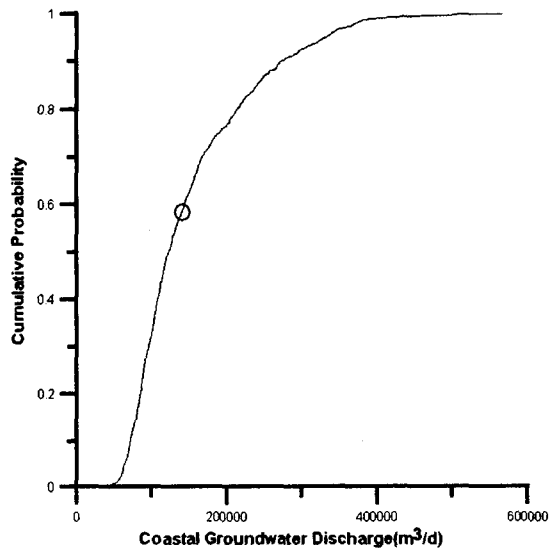


그림 3.2.7 해안 유출량의 확률 분포

제3절 울진군 유역의 지하수 함양량 평가

전 절에서 산정된 지하수 해안 유출량에 하천 기저유출량과 지하수 이용량을 고려하여 지하수 함양율을 평가하였다. 수자원공사(1999)의 조사에 의하면 울진군 유역에는 동해로 유출되는 소하천이 207개소이다. 대다수의 하천의 규모가 작아 수문곡선이 관측되는 하천은 없으나 수자원공사의 조사 시에 하천 유량이 조사된 바 있다. 수자원 공사는 울진군 유역의 연간 기저유출량을 Tank 모델과 비유량법, Kajiyama 유출고법 등으로 평가한 결과 $207,000,000\text{m}^3/\text{d}$ 에 이른다고 보고하였다.

울진군에는 1500여개의 관정이 존재하는 것으로 파악되었으며 연간 총 이용량은 $21,000\text{m}^3$

에 이르는 것으로 조사되었다 (표 3.3.1).

상기 결과를 이용하여 산정된 울진군 지역의 유효 지하수 함양율과 지하수 함양율은 표 3.3.2에 수록되었다. 유효 지하수 함양율은 6.25%, 그리고 지하수 함양율은 23.8%로 나타났다.

표 3.3.1 울진군 지하수 이용량

구분	계			생활용		공업용		농업용		기타	
	개소 (공)	이용량		개소 (공)	이용량 (천m ³ / 년)	개소 (공)	이용량 (천m ³ / 년)	개소 (공)	이용량 (천m ³ / 년)	개소 (공)	이용량 (천m ³ / 년)
		(천m ³ / 년)	(%)								
울진군	1,504	21,373.6	100.0	562	4,097.8	12	199.7	884	7,864.6	46	9,211.5
울진읍	678	2,456.3	11.5	437	387.0	5	55.3	235	1,944.0	1	70.0
평해읍	120	1,612.0	7.6	9	231.4			111	1,380.6		
근남면	110	1,599.1	7.4	29	875.1			81	724.0		
기성면	129	902.0	4.2	11	106.4			118	795.6		
북면	144	3,184.0	15.0	31	1,140.4	3	45.5	107	773.1	3	1,225.0
서면	1	18.0	0.1					1	18.0		
온정면	65	8,699.7	40.7	12	679.7			11	103.5	42	7,916.5
원남면	116	1,676.0	7.8	25	606.9	1	3.5	90	1,065.6		
죽변면	89	518.8	2.4	5	27.9	1	1.0	83	490.5		
후포면	52	707.5	3.3	3	43.5	2	94.3	47	569.7		

표 3.3.2 울진 지역의 유효지하수 함양량

구분	단위 (m ³ /year)
지하수 해안유출량	52,517,295
지하수 이용량	21,373,667
유효지하수 함양량(지하수 해안유출량+지하수 이용량)	73,890,962
유효 지하수 함양율(=유효지하수 함양량/강수량)	6.25%
하천 기저유출량	207,343,000
지하수함양량(=유효지하수함양량+하천기저유출량)	281,233,962
지하수 함양율(=지하수함양량/강수량)	23.8%

제4장 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 해안 지역의 지하수 함양량 평가의 정확도를 향상시킬 수 있는 물수지 분석 방법을 제시하였다. 정확도의 향상은 대부분의 기존 연구에서는 무시되었던 대상 지역의 경계를 통한 지하수 유출입량의 고려를 통하여 이루어졌다. 구체적으로는 해안유역에서 하류 경계를 통한 지하수 유출량을 Darcy의 법칙을 이용하여 평가하는 방법을 제시하였다.

또한 대부분의 기존 연구에서 지하수 함양량의 주요 성분으로 취급되어 온 하천 기저유출량은 지표수로 환원된 지하수이므로 수자원관리의 측면에서는 지하수라고 보는 것이 불합리하다. 따라서 이용가능한 지하수 수자원관리의 측면에서는 하천 기저유출량이 제외된 함양량이라고 정의된 유효 지하수 함양량을 사용하는 것이 더 합리적이다.

전술된 방법을 울진군 유역에 시범 적용한 결과 지하수 함양율은 23.8%, 유효지하수 함양율은 6.3%로 나타났다. 따라서 울진군 유역에서 이용 가능한 지하수량은 강수량의 6.3% 정도인 것으로 판단된다.

본 연구에서 제안된 방법은 해안 유역 뿐 아니라 내륙의 유역에 대해서도 적용될 수 있다. 다만 경계를 통한 유출입량을 정확히 산정하기 위해서는 경계에서의 지하수 동수경사를 정밀하게 구해야한다.

본 연구에서 제시된 방법은 다음 항목에 대한 연구를 통하여 더욱 발전될 것으로 생각된다.

- 실제조건에서의 섬·반도에서의 지하수 해안유출량 평가기법을 도출
- 계절적 변화에 대한 고려
- 실험모형 검증과 현장 검증

참 고 문 헌

- 1) 건설교통부 (2001), 수자원장기종합계획.
- 2) 박남식, 홍성훈, 심명근, 한수영(2003) 해안지역 지하수 개발의 필요성과 개발 가능성, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제 36권, 제 1호, pp. 99-106.
- 3) 한국수자원공사 (1999), 울진지역 지하수 기초조사 보고서
- 4) 홍성훈, 한수영, 박남식(2003) 해안지역의 지하수 개발가능량 평가, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제 23권, 제 3B호, pp. 201-207.
- 5) Burnett, W.C., Taniguchi, M., Oberdorfer, J., (2001), Measurement and significance of the direct discharge of groundwater into the coastal zone, J. of Sea Research, 46, 109,116.
- 6) Burnett, W.C., Kim, G., and Lane-Smith, D. (2001) A continuous monitor for assessment of ^{222}Rn in the coastal ocean, J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 249, 1, 167-172.
- 7) Corbett, D.R., Burnett, W.C., Chanton, J.P. 2001, Submarine groundwater discharge, Sea Grant.
- 8) Kim, G., Burnett, W.C., Dulaiva, H., Swarzenski, P.W., and Moore, W.S. (2001) Measurement of ^{224}Ra and ^{226}Ra activities in natural waters using a Radon-in-air monitor, Environ. Sci. Technol. 35, 4680-4683.
- 9) Top, Z., Brand, L.E., Corbett, R.D., Burnett, W.C, and Chanton, J. (2001), J. of Coastal Research, 17, 4, 859-868.