

창원시 대산면 강변충적층의 지하수위 변동 특성

정재열¹⁾ · 함세영^{*1)} · 김형수²⁾ · 손건태³⁾ · 차용훈¹⁾ · 장성¹⁾ · 백건하²⁾
¹⁾부산대학교 지질학과, ²⁾한국수자원공사 수자원연구원, ³⁾부산대학교 통계학과

Characteristics of Waterlevel Fluctuation in Riverside Alluvium of Daesan-myeon, Changwon City

Jae-Yeol Cheong¹⁾ · Se-Yeong Hamm^{*1)} · Hyoung-Su Kim²⁾ · Keon-Tae Son³⁾ · Yong-Hoon Cha¹⁾ · Seong Jang¹⁾ · Keon-Ha Baek²⁾

¹⁾Dept. of Geology, Pusan National University

²⁾Institute of Water Resources, Korea Water Resources Corporation

³⁾Dept. of Statistics, Pusan National University

요 약

본 연구에서는 창원시 대산면 강변여과수 취수장 부지의 지하수위 변동 특성을 분석하였다. 지하수위 및 하천수위 변동과 하천-대수층간의 상호작용은 장기적으로 취수정의 적정양수량을 평가하는데 중요하다. 2003년 2월부터 2003년 10월까지의 지하수위 분포를 보면 지하수위는 대체로 배후지쪽에서 낙동강 쪽으로 갈수록 낮아지는 경향성을 보이고 있으며, 수두경사는 0.008 정도를 나타낸다. 그러나, 취수정의 양수와 강수량에 의한 낙동강 수위 상승에 의해 일시적으로 유동방향이 역전되기도 한다. 낙동강 수위는 강수량 변화에 따라 해수면 기준으로 0 ~ 10m를 보인다. 6개 지하수 관측공(DS1, DS2, DS3, DS4, DS6, DS7)에 대해서 자기상관분석을 실시한 결과, 세 개의 그룹으로 분류되었다. 1그룹(DS1호공과 DS3호공)은 강한 선형성과 기억효과를 보여주고, 2그룹(DS2호공과 DS6호공)은 중간정도의 선형성과 기억효과를 나타내며, 3그룹(DS4호공과 DS7호공)은 가장 약한 선형성과 기억효과를 보였다. 1그룹은 낙동강 수위변화의 영향을 상대적으로 많이 받고, 2그룹은 낙동강수위와 취수량의 영향을 동시에 받으며, 3그룹은 취수량의 영향을 가장 많이 받는 것으로 분석되었다.

주요어: 강변여과수, 창원시, 대산면, 지하수위 변동, 낙동강 수위, 자기상관분석

ABSTRACT: This study aims to elucidate characteristics of groundwater level fluctuation at riverbank filtration sites in Daesan-myeon, Changwon City. Groundwater level fluctuation, river water level change and stream-aquifer interaction are very important to estimate optimal discharge rate of the pumping well. Water level contours from February 2003 to October 2003 show normal decreasing trend toward the Nakdong river with the hydraulic gradient of 0.008. However, flow reversion occurs when groundwater is discharged at the pumping wells or rise of the Nakdong river by rainfall. The fluctuation of the Nakdong river ranges 0 - 10 m msl. Autocorrelation analysis was conducted to the

*Corresponding author : jjy@pusan.ac.kr

groundwater levels measured on the six monitoring wells (DS1, DS2, DS3, DS4, DS6 and DS7). The analyzed waterlevel data can be grouped into three: group 1 (DS1 and DS3) represents strong linearity and long memory effect, group 2 (DS1 and DS6) intermediate linearity and memory, and group 3 (DS4 and DS7) weak linearity and memory. Waterlevels of group 1 wells are relatively closely related to the change of river-water level. Those of group 2 wells are largely affected by the pumping and the river-water level, and those of group 3 wells are strongly linked to pumping.

Key words: riverbank filtrate, Changwon city, Daesan-myeon, groundwater level fluctuation, waterlevel of Nakdong river, autocorrelation analysis

서 론

지표수와 지하수를 연계·이용하는 방법에는 간접 인공함양과 직접 인공함양방법이 있다. 간접 인공함양방법 중 대표적인 것은 유도 방식 인공함양으로 강변여과 방식과 지하 저류(지하수 댐) 방식이 있다. 강변여과수는 하천수를 강변의 층적층으로 통과시켜 취수하는 방법이며, 지하 저류 방식은 지하 대수층을 부분적으로 차수하여 지하수를 저류하고 이를 취수하는 방식이다.

직접 인공함양방법은 주입방식과 포수방식으로 구분된다(김형수와 함세영, 2003). 주입방식은 주입정호를 대수층까지 직접 착정하는 습식형과 그렇지 않은 건식형으로 구분한다. ASR(aquifer storage and recovery)은 주입방식의 한 형태로 한정호를 통하여 주입과 회수를 수행할 수 있는 방식이다. 포수방식은 함양지 방식, 하천-수로 방식, 도랑-고랑 방식, 범람 방식 및 지하관 매설 방식이 있다.

유럽, 미국 등 선진국에서는 오래전부터 강변퇴적층의 자정능력을 이용한 취수원 개발을 시행하여 왔다. 특히, 독일에서는 19세기 후반부터 라인강변을 따라 굴착된 취수정으로부터 강변여과수를 개발하여 음용수로 사용하여 왔다. 그 외에도 네덜란드, 프랑스, 오스트리아, 스웨덴, 미국, 호주, 일본, 중국, 이스라엘 등 여러 나라에서도 간접 또는 직접 인공함양에 의한 취수원 개발 방식을 채택하고 있다.

우리나라에서는 1990년대부터 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 유역의 강변여과수 개발타당성 조사가 실시되었다(한국수자원공사, 1995, 1996,

1998, 1999, 2002; 환경부의, 1996: 환경부와 경상남도, 1998: 창원시, 1999). 이러한 조사 결과로 낙동강 하류의 창원시, 함안군, 김해시에서는 강변여과수 개발사업을 진행 중에 있다. 특히, 창원시에서는 수돗물의 원수인 낙동강물의 오염취약성 및 배분량 한계로 인한 수원 확보방안의 일환으로 오염에 상대적으로 안전하고 갈수기에도 풍부한 수원을 확보할 수 있는 강변여과수를 개발하게 되었다. 현재 창원시에서는 북면 신촌리와 대산면 갈전리의 낙동강 본류 하안 지역(Fig. 1)에 취수장을 건설하여, 각각 3,000m³/일과 2,000m³/일씩 강변여과수를 취수하여 주민들에게 식수로 공급하고 있다(현재 시설용량은 대산면과 북면에 각각 10,000m³/일임). 1단계 확장공사(2000 ~ 2005년)를 완공하면 대산면에 60,000m³/일의 강변여과수를 추가로 개발하게 된다. 2단계 확장공사(2006 ~ 2010년)에는 대산면에 60,000m³/일, 북면에 40,000m³/일을 개발하게 되며, 3단계 확장공사(2011 ~ 2016년)에는 대산면에 60,000m³/일을 추가로 개발할 예정이어서 창원시의 강변여과수 총 개발량은 240,000m³/일이 될 것으로 예상된다.

창원시 대산면 갈전리 강변여과수 취수장 주변의 수리지질학적 연구로는 함세영 외(2002a, 2002b, 2002c), 함세영 외(2003a, 2003b), 현승규 외(2003), 정재열 외(2003), Cheong et al.(2003), Hamm et al.(2003) 등이 있다. 그 외 다른 강변여과수 개발 지역의 연구로는 김진영 외(2003), 함세영 외(2003c), 김주환 외(2003) 등이 있다.

본 연구는 창원시 대산면 갈전리 강변여과수 취수장지역의 7개 취수정(PW1 ~ PW7)과 11개 관측공(DS1 ~ DS8, OW11, OW13, OW16)의 지하

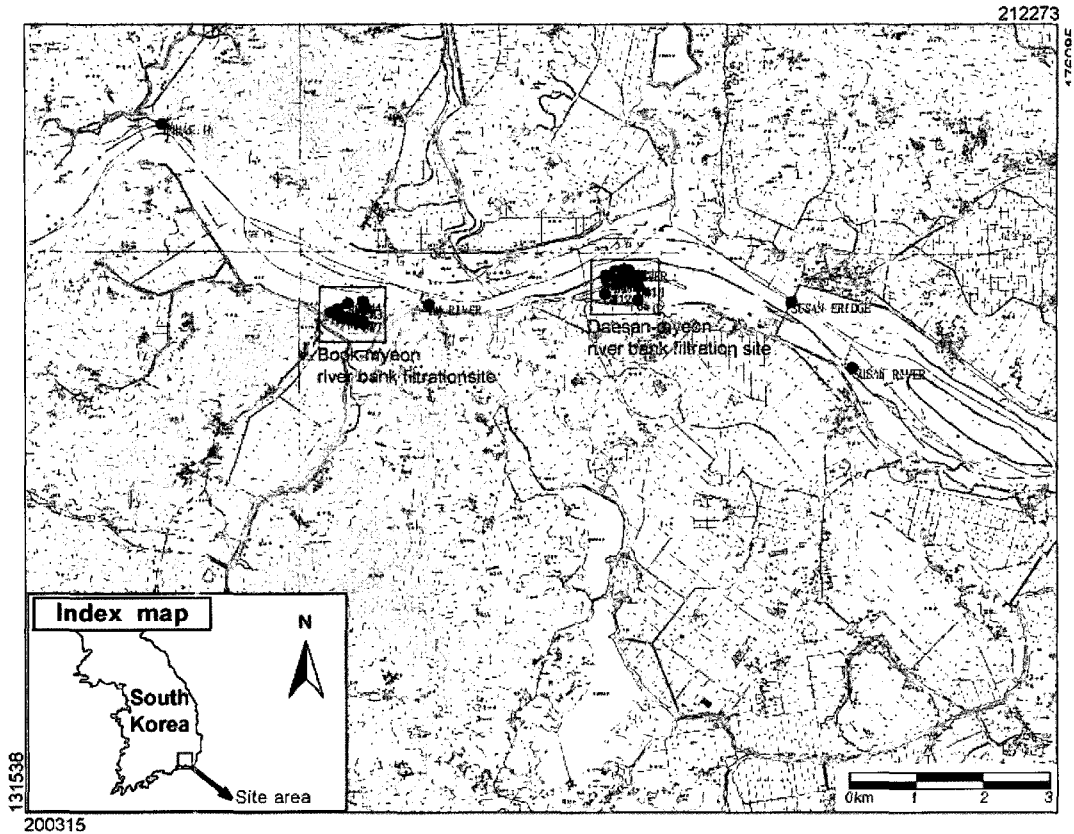


Fig. 1. Location of the riverbank filtration site in Daesan-myeon.

수위 관측 자료로부터(Fig. 2) 연구지역 강변층적층의 지하수 유동 및 계절적인 지하수위 변동 특성을 분석하였다. 아울러, 수산교의 낙동강수위를 창원시 대산면 강변층적층의 지하수위와 연관하여 분석하였다.

지형 및 지질

지형

연구지역은 행정구역상으로는 경상남도 창원시 대산면 갈전리 낙동강 본류 남측 하안지역이다(Fig. 1). 연구지역 일대는 서에서 동으로 관류하고 있는 낙동강의 흐름이 전형적인 사해의 양상을 보이고 있으며, 특히 동측은 안산암질 응회암

이 기반암을 이루고 있으며, 차별침식에 의한 평야지대를 이루고 있다. 대산면 우암리 동국마을에는 60m 높이의 잔구가 발달되어 있으며, 지형윤회 상으로는 장년기 중기에 해당한다. 수계는 동서방향으로 낙동강의 본류가 흐르고, 여기에 남북방향의 소하천이 트래리스 수계상(trellis drainage pattern)으로 낙동강에 유입된다. 그리고 연구지역의 남부 동읍면에 소재하는 주남저수지는 관개용수로 이용되고 있다.

대산면 갈전리 낙동강변의 지형등고선을 보면(Fig. 2), 연구지역 중앙의 PW1 부근이 남북방향으로 해발 9m 정도로 높고 지형고도가 낮은 부분은 7.5m 정도이다. 그러나, 조사부지의 지표면의 고도는 홍수기의 퇴적과 낙동강의 포류수에 의한 침식에 의해서 시기적으로 달라지고 있다.

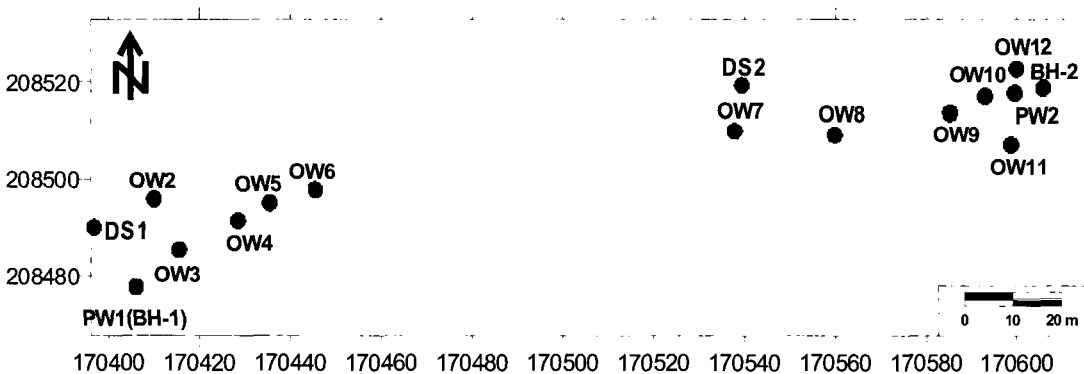
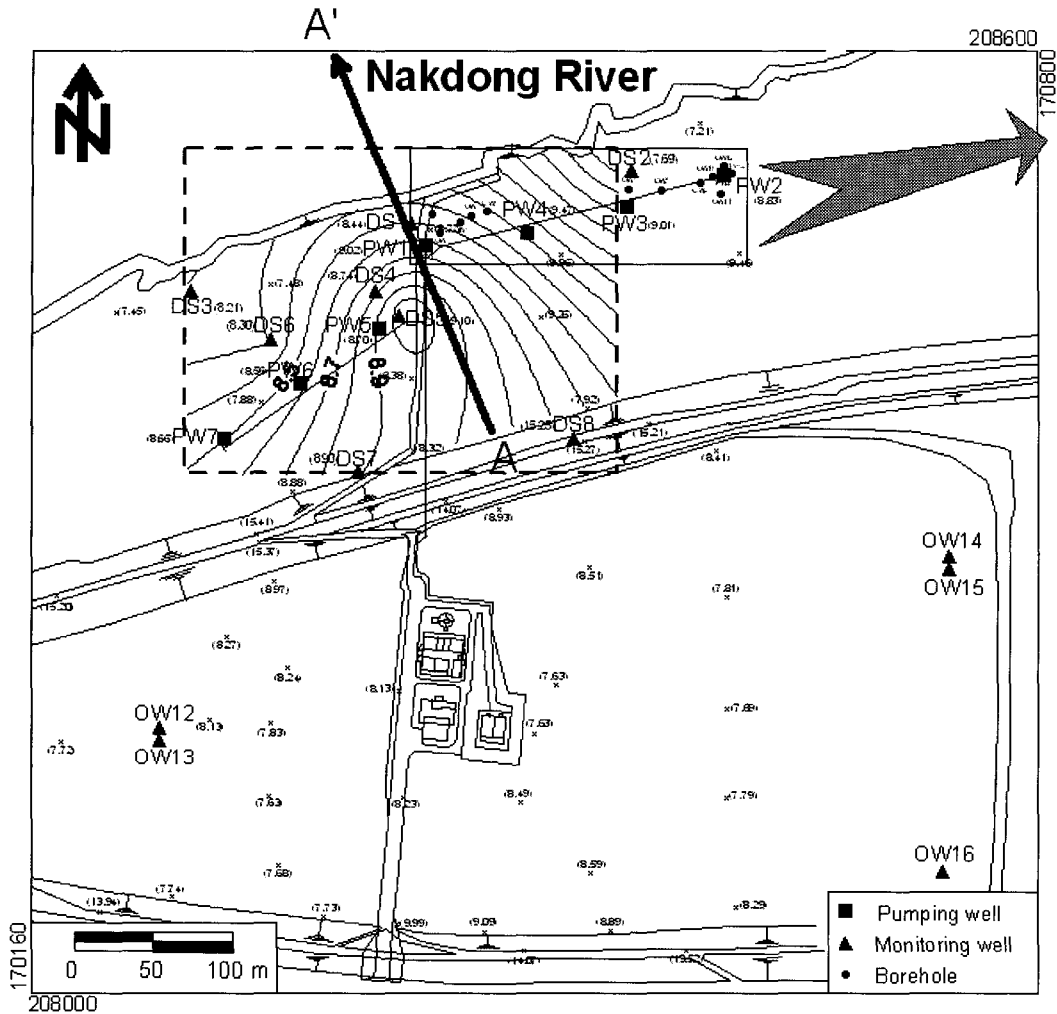


Fig. 2. Location of pumping and observation wells.

창원시 대산면 강변충적층의 지하수위 변동 특성

지질

창원시 대산면의 지질은 경상남북도에 걸쳐 널리 분포하는 중생대 백악기 상부 경상누층군의 유천층군과 이를 관입한 불국사관입암류와 그리고 이들을 부정합으로 피복하고 있는 제4기의 충적층으로 구성되어 있다(Fig. 3). 유천층군은 화산암류와 퇴적암류로 대별된다. 화산암류들은 안산암질응회암, 유문암질응회암, 그리고 역질응회암 등으로 구성되어 있으며, 대산면과 동읍면 전체, 북면의 동측, 그리고 낙동강 건너편 창녕군 초동면 점암리, 밀양군 하남읍 백산리 등지에 분포하고 있다. 연구지역인 대산면 갈전리 지역은 안산암질응회암으로 구성되어 있다. 김남장과 이흥규(1964)는 화산암류를 팔용산응회암과 주산안산암질암으로 구분하고 있으나, 그 구별이 용이하지 않으므로 본 연구에서는 팔용산응회암과 주산안산암질암이라는 용어를 사용하지 않았다.

퇴적암류는 석회암, 녹색세일, 처트질 세일 및 장석질 사암 등으로 구성되어 있으며, 북면 무곡리에서 외산리에 걸쳐 남북방향으로 분포한다.

불국사관입암류는 화강섬록암과 규장암들로써, 화강섬록암은 북면 신촌리와 낙동강 건너편인 창녕군 부곡면 구산리, 노리 일대에서 퇴적암층과 화산암류를 관입하여 있는 형태로 나타난다. 규장암은 북면 외산리 내산마을, 신촌리 마금산 일대, 동읍 금산리 양교마을, 그리고 대산면 우암리 동극마을 등지에서 산성암맥의 형태로 관찰된다.

제4기층은 이상의 모든 암석들을 부정합으로 피복하고 주로 낙동강 유역에 연하여 넓게 발달하고 있다.

수리 지질

창원시 대산면 갈전리 강변여과수 취수지역에는 7개 취수정(PW1, PW2, PW3, PW4, PW5, PW6, PW7호정)이 위치하고 있다. 이들 취수정은 낙동강 본류로부터 45 ~ 110m 떨어져 있다. 또한 이 지역에는 11개의 관측공(DS1 ~ DS8, OW11, OW13, OW16)이 있다(Fig. 2). Fig. 2에서 괄호안

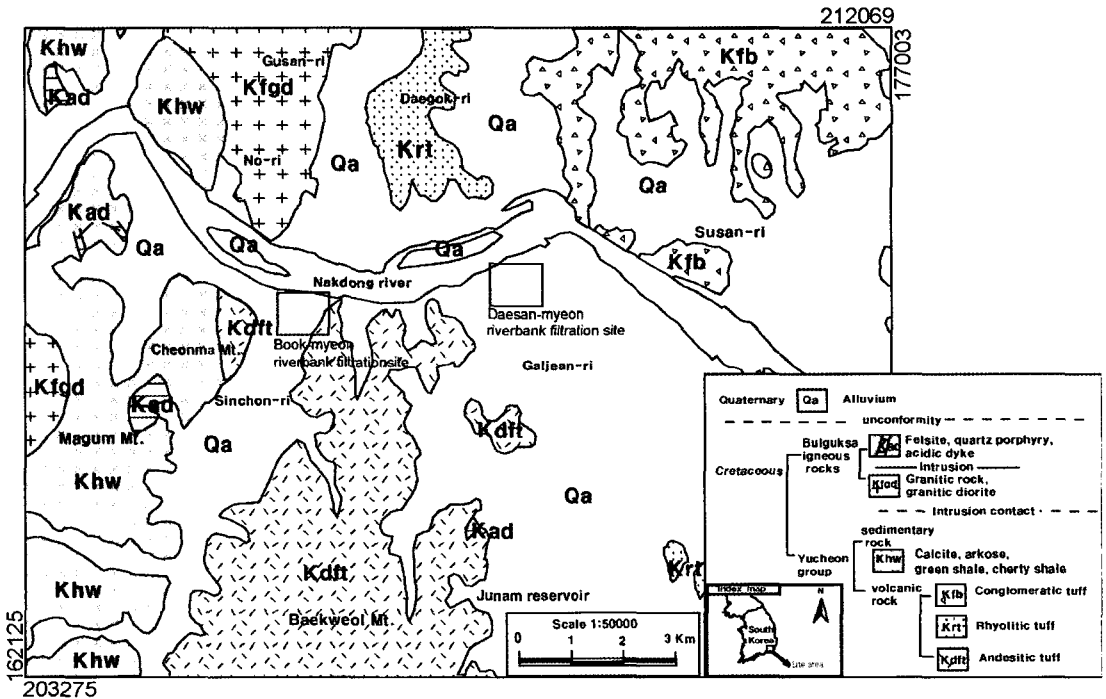


Fig. 3. Geology of the study area.

의 숫자는 과거에 측량된 지표 해발고도를 나타내며, 파란색의 팔호안 숫자는 GPS로 측량한 지표 해발고도를 나타낸다. 관측공에는 자동수위 측정기(Solinst 사의 Level logger, 측정범위 30m; Eijkelkamp사의 Diver, 측정범위 10m)를 설치하였으며, 1분 간격으로 지하수위를 측정하였다.

취수정(PW1 ~ PW7)의 시추자료와 관측정(DS1 ~ DS8)의 시추자료 및 입도분석에 의하면, 부지지질은 지표로부터 차례로 모래층(세립질 모래층, 중립질 모래층, 세립질 모래층), 모래자갈층 그리고 안산암질 응회암의 풍화대로 구성되어 있다(Table 1). Table 1에서 모래자갈층의 두께는 관측공의 심도가 모래자갈층을 완전히 관통하지 못하였으므로 부분 관통한 두께만 기재되어 있다. 주 대수층은 모래자갈층이며, 모래층도 대수층 역할을 하고 있다. 모래자갈층의 두께는 PW1, PW2, PW3, PW4호정 부근이 두껍고(13.5m ~ 17.5m), PW5, PW6, PW7 부근은 6.3m ~ 10.5m 정도로 얇다. 기반암은 지하 약 48.5 ~ 54.0m 이하에서 나타난다(주식회사 삼중엔지니어링, 1999; 동아건설과 대덕공영, 2000).

Fig. 4는 2003년 10월 4일의 지하수위를 나타내는 낙동강 주변의 지질단면도(Fig. 2의 A-A')를 나타낸다. 실제로 연구지역의 수심을 측정하기 어렵기 때문에, 단면도상에서 낙동강의 수심은 대신면 갈전리 강변여과수 취수장 부지의 낙동강의 형태가 아닌 약 2.7km 하류에 위치한 구 수산교의 낙동강의 형태를 도시하였다. 또한 A'는 실제로는 Fig. 2의 화살표 방향으로 더 연장되어 있다. 지층의 발달상태를 보면, 지표로부터 세립질 모래층, 중립질 모래층, 세립질 모래층, 모래자갈층 그리고 안산암질 응회암의 풍화대로 구성되어 있다. 낙동강의 바닥 하부의 지층경계는 추정경계이며 점선으로 표시하였다. 낙동강의 수심은 약 3m이다.

Fig. 4에서 알 수 있듯이, 홍수기를 제외한 자연 상태에는 수두경사 0.008을 보이면서 낙동강쪽으로 갈수록 지하수면이 낮아지고 있으며(Fig. 4의 파란 점선), 범람원에서 낙동강 쪽으로 지하수 흐름이 일어나고 있다. 그러나, 강변여과수 취수정에서 지하수를 취수하게 되면 지하수 흐름은 낙동강쪽과 범람원쪽의 양방향에서 일어나게 된다. 강변여과수 취수정에서 지하수를 취수할 때, 낙동강

Table 1. Geology of monitoring wells in Daesan-myeon.

Well no.	Thick. of fine sand layer (m)	Thick. of medium sand layer (m)	Thick. of fine sand layer (m)	Thick. of sand/gravel layer (m)	Total depth (m)
DS1	14.0	6.0	9.0	0.5	29.5
DS2	11.0	6.0	12.0	0.5	29.5
DS3	29.0	-	-	1.0	30.0
DS4	15.0	1.0	11.0	0.4	27.4
DS5	18.0	0.5	9.6	2.9	31.0
DS6	24.0	6.4	1.6	-	32.0
DS7	18.0	3.5	8.0	-	29.5
DS8	15.0	7.0	13.0	1.0	36.0
Min.	11.0	0.5	1.6	0.4	27.4
Max.	29.0	7.0	13.0	2.9	36.0
Median	16.5	6.0	9.6	0.8	29.8
Arith. mean	18.0	4.3	9.2	1.1	30.6
Std. dev.	5.9	2.7	3.8	0.9	2.5
Skewness	1.0	-0.7	-1.5	2.0	1.4
Kurtosis	0.6	-1.6	2.9	4.4	2.9

창원시 대산면 강변충적층의 지하수위 변동 특성

Table 2. Geology of pumping wells in Daesan-myeon.

Well no.	Sandy layer(m)	Sand/gravel layer (m)	Weathered zone(m)	Total depth (m)	Saturated thickness (m)*	Screen section (m)	Depth of pressure sensor (m)	Ground surface elevation (m a.s.l.)
PW1	28.5	13.5	6.0	48.0	39.6	28.5-34.5 36.0-42.0	25.0	9.02
PW2	30.0	14.0	-	44.0	34.3	26.0-38.0	25.0	8.83
PW3	28.5	17.5	2.0	48.0	39.3	26.5-42.5	23.8	9.01
PW4	28.0	16.0	4.0	48.0	37.9	21.5-37.5	23.9	9.47
PW5	34.2	6.3	7.3	47.8	39.2	23.0-39.0	20.7	8.70
PW6	31.5	10.5	6.0	48.0	39.0	26.5-42.5	22.7	8.56
PW7	29.0	10.5	6.5	48.0	38.4	21.5-37.5	21.7	8.66

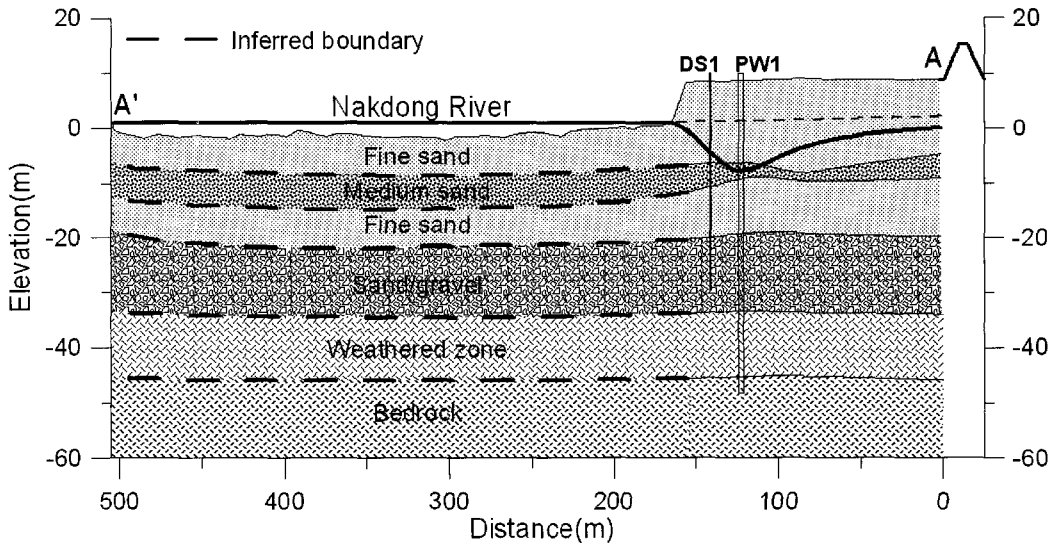


Fig. 4. Geological section around the Nakdong river.

쪽에서 유입되는 지하수의 양이 범람원 쪽에서 유입되는 지하수의 양보다 더 많다. 이는 낙동강이 지하수의 함양경계를 형성하고 있으며, 낙동강 쪽의 수두경사가 배후지역쪽의 수두경사보다 더 급하기 때문이다(Fig. 4). 취수정의 적정취수량은 대수층의 투수성과 저류성에 따라 달라진다. 낙동강변에서는 낙동강쪽으로 갈수록 주 대수층인 모래자갈층의 두께가 증가하기 때문에 취수정의 적정양수량도 증가한다.

낙동강으로부터의 지하수 유입은 대부분 모래자갈층을 통해서 일어나는 것으로 판단된다. 낙동강으로부터의 지하수 유입이 대부분 주 대수층인 모래자갈층을 통하여 일어나므로, 낙동강물이 취수정까지 도달하는 시간은 실제로는 모래자갈층을 통과하는 시간이 될 것이다. 또한 일부 지하수는 낙동강에 직각방향 뿐만 아니라 낙동강에 평행한 방향으로 상류에서도 유입하는 것으로 판단된다.

지하수위 및 낙동강수위 분석

지하수위 측정

2003년 1월 21일부터 2003년 10월 현재까지 대산면 강변여과수 취수장 지역에 9개소(DS1 ~ DS8, OW11)에 자동수위 측정 압력센서를 설치하여 지하수위를 관측하였다(Fig. 5). 지하수위는 해발고도를 기준으로 하였으며, 수위변동폭이 작으므로 cm 로 표기하였다. 지하수위 측정용 압력 센서는 대기압의 영향을 받고 있으므로 대기압 측정 센서(네덜란드 Eijkelkamp 사의 모델 DI250)를 사용하여 대기압의 영향을 제거하였다.

지하수위 변동 범위는 29.5 ~ 144.7cm이며(Table 3, Fig. 5). 수위 측정기간 동안 전체적으로는 지하수위가 약간 상승하는 경향성을 보인다. DS4의 최저수위(5.9cm)는 인근 비닐하우스 경작지 지하수공에서 양수하기 때문으로 판단된다. Fig. 5에서 보면, 관측공의 지하수위는 낙동강 수위와 함께 변동하고 있음을 보여주고 있다. 또한 관측공의 수위는 취수정의 양수 영향도 받고 있다.

관측된 지하수위를 이용하여 시기적으로 다른 지하수위 등고선도를 작성하였다(Fig. 6). 2003년 2월 4일 14:00-15:00(양수량 PW2 46m³/h, PW3

74m³/h), 2003년 2월 18일 12:00-13:00(양수량 PW2 85m³/h, PW3 80m³/h, PW4 83m³/h, PW7 83m³/h), 2003년 3월 4일 13:00-14:00(양수량 PW2 90m³/h), 2003년 3월 18일 14:00-15:00(양수량 PW2 55m³/h), 2003년 4월 15일 17:00-18:00(양수량 PW2 45m³/h, PW4 83m³/h), 2003년 4월 29일 16:00-17:00(양수량 PW3 77m³/h, PW4 73m³/h, PW6 28m³/h, PW7 76m³/h), 2003년 5월 13일 16:00-17:00(양수량 PW2 24m³/h, PW5 83m³/h), 2003년 5월 27일 17:00-18:00(양수량 PW3 58m³/h, PW4 55m³/h, PW7 87m³/h), 2003년 6월 10일 15:00-16:00(양수량 PW3 86m³/h, PW4 81m³/h, PW7 84m³/h), 2003년 6월 26일 17:00-18:00(양수량 PW2 23m³/h, PW7 22m³/h), 2003년 7월 10일 13:00-14:00(양수량 PW4 84m³/h, PW6 54m³/h), 2003년 7월 24일 16:00-17:00(양수량 PW2 45m³/h), 2003년 8월 5일 15:00-16:00(양수량 PW2 32m³/h, PW5 15m³/h, PW6 10m³/h), 2003년 8월 14일 11:00-12:00(양수량 PW3 88m³/h), 2003년 8월 28일 16:00-17:00(양수량 PW4 83m³/h, PW7 88m³/h), 2003년 9월 20일 17:00-18:00, 2003년 10월 4일 13:00-14:00의 지하수위 등고선도가 도시되어 있다. 계절에 따른 지하수위 등고선도는 낙

Table 3. Basic statistics by the waterlevel variations at monitoring wells (Jan. 21, 2003 to Apr. 15, 2003).

Well no.	Min. (cm)	Max. (cm).	Range (cm)	Mean (cm)	Median (cm)	Std. dev. (cm)	Kurtosis	Skewness
DS1	49.4	126.0	76.6	80.2	77.0	14.1	0.6	0.9
DS2	43.3	126.5	83.2	80.0	79.3	14.8	0.4	0.4
DS3	43.7	120.1	76.4	76.9	73.3	13.5	0.6	1.0
DS4	5.9	144.7	138.8	84.4	86.3	30.2	-0.7	-0.4
DS5	58.8	117.7	58.9	98.6	102.6	12.4	0.8	-1.1
DS6	51.1	130.9	79.8	86.8	84.7	14.6	-0.1	0.5
DS7	29.5	139.3	109.8	93.1	94.3	23.0	-0.4	-0.5
DS8	38.7	118.1	79.4	80.4	83.5	18.1	-0.8	-0.4

창원시 대산면 강변층적층의 지하수위 변동 특성

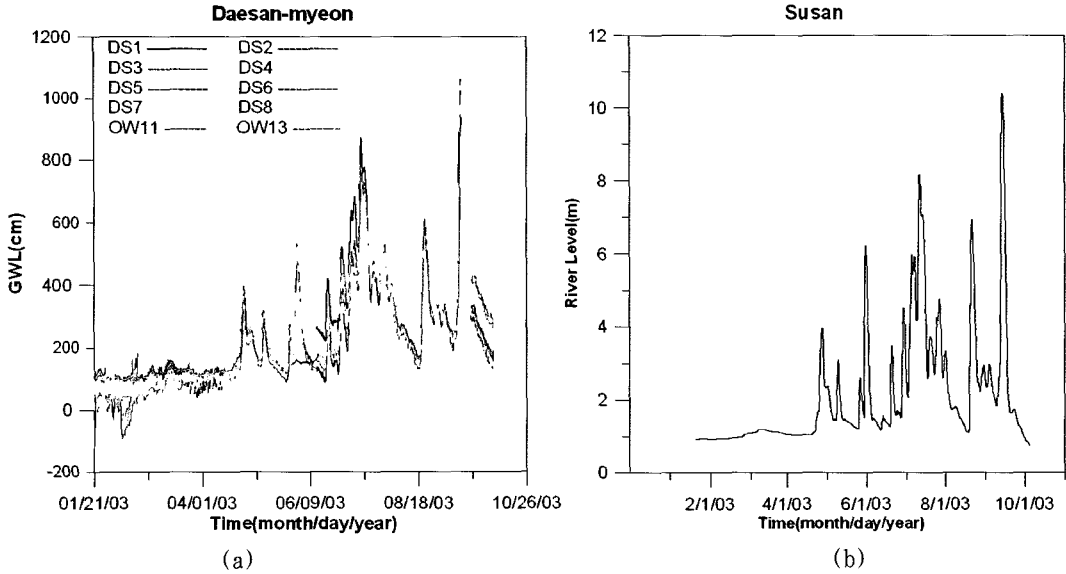


Fig. 5. Water level variation of (a) monitoring wells (b) Susan bridge.

동강 수위와 취수정에서의 양수에 의한 영향으로 달라지지만, 전체적으로는 지하수위가 낙동강쪽으로 갈수록 낮아지는 경향성을 보인다. 그러나, 3월 4일, 3월 18일, 4월 29일, 5월 27일, 7월 10일의 지하수위는 반대로 낙동강 쪽이 더 높은 경향성을 보인다. 이러한 경향성은 강우에 의한 일시적인 낙동강 수위 상승의 효과에 의한 것으로 판단된다. 그리고, 거의 모든 지하수위 등고선도에서 PW4의 취수에 의한 지하수위 영향추가 관측공 DS4 주위에서 나타나고 있다. 그리고, 2월 18일과 6월 26일의 지하수위 등고선도에서는 낙동강과 평행한 흐름이 현저하게 일어나고 있다. 이러한 흐름은 낙동강을 따른 표류수의 흐름이 배후지대에서 낙동강쪽으로의 지하수 흐름보다 상대적으로 강할 때에 나타나는 현상으로 해석된다.

낙동강 수위 분석

대산면 갈전리에서 하류쪽으로 약 2.7km 떨어진 곳에 위치하는 수산교에서 30분 간격으로 관측한 1998년 3월 30일부터 2003년 4월 15일까지의 낙동강 수위 자료를 낙동강홍수통제소로부터 제공받아 분석하였다. 이는 낙동강 수위변동이 강변여과수 취수량에 영향을 미치고 낙동강과 대수층

간의 상호작용의 주요인이 되기 때문이다. 1998년 3월 30일부터 2003년 10월 현재까지의 평균 하천수위는 1.5m이고, 최고수위와 최저수위는 각각 10.0m와 -0.1m로서 최고수위와 최저수위의 차이가 약 10m가 된다(Fig. 7, Table 4).

지하수위와 낙동강 수위의 자기상관분석

지하수위와 낙동강 수위의 연관성을 알기 위하여 시계열 분석을 실시하였다. 시계열분석에는 자기상관분석, 교차상관분석, 스펙트럼분석 등이 있다. 지하수위나 지하수 수질 자료의 시간적인 변화 특성을 분석하는데 시계열 분석이 적용된다 (Duffy and Gelhar, 1986; Padilla and Pulido-Boshch, 1995; Lacocque et al., 1998; Lee and Lee, 2000; 이진용과 이강근, 2002). 자기상관분석은 시간별 자료나 거리에 따른 자료의 자기 유사성을 계산함으로써 반복성이나 그 외 특별한 성질을 알아낼 수 있다. 자기상관분석을 실시하기 위해서는 시간이나 공간상의 순서적인 관측값이 필요하며, 이 값들은 일정한 간격으로 배열되어 있어야 한다. 지하수위자료의 자기상관분석은 강수량, 양수량, 대기압 등과의 교차상관분석을 하기 전에 지하수위 변동의 경향성을 알고자 할 때 편

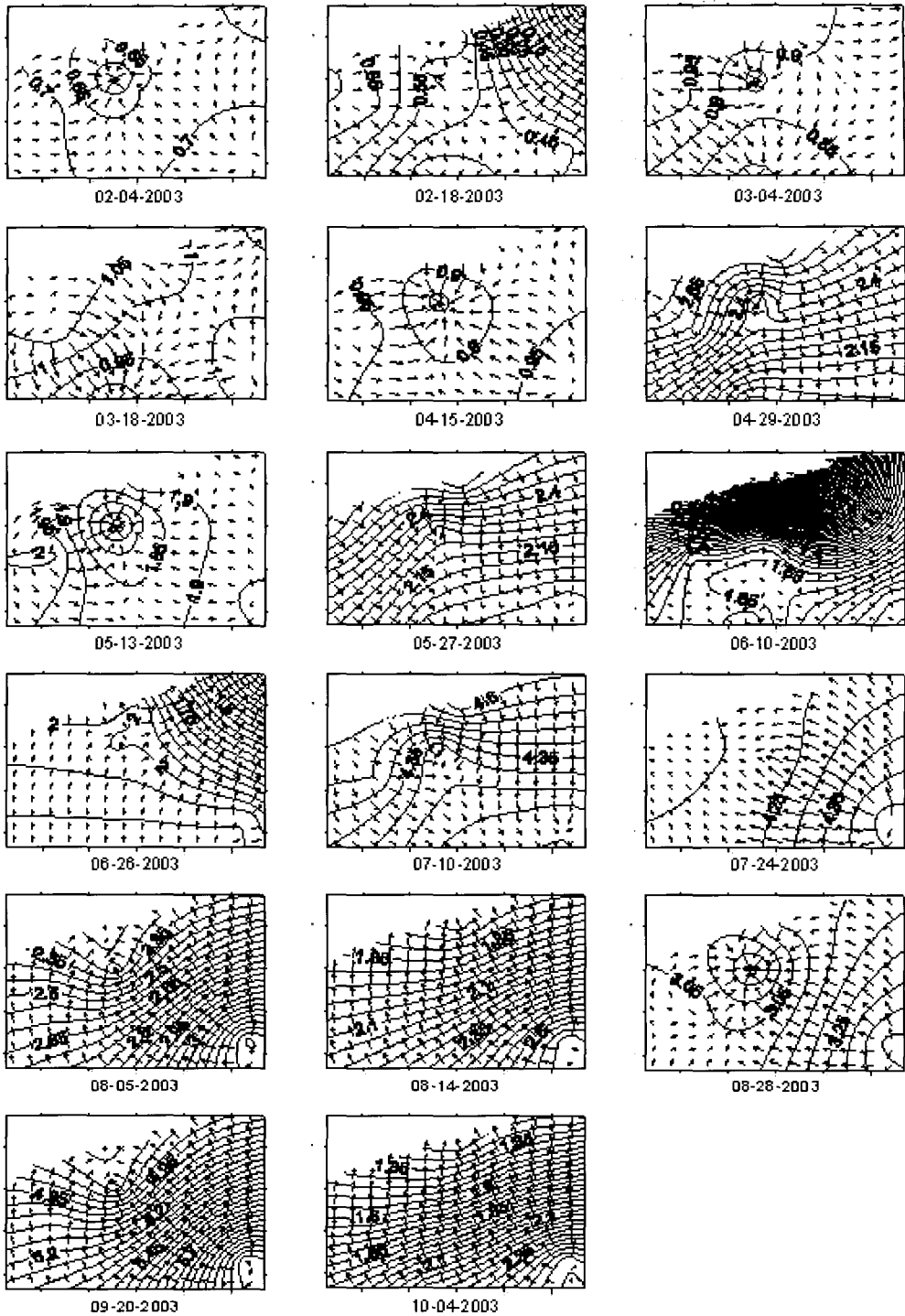


Fig. 6. Equipotential lines of different pumping dates and rates.

창원시 대산면 강변층적층의 지하수위 변동 특성

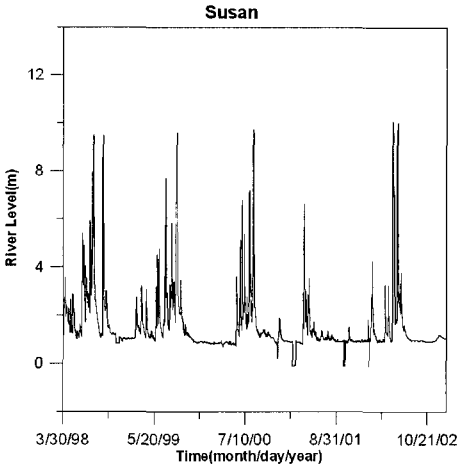


Fig. 7. Hydrograph at Susan bridge during 03/30/1998 - 04/15/2003.

Table 4. Basic statistics for the waterlevel variations at Susan bridge (Mar. 30, 1998 - Apr. 15, 2003)

Min.	-0.101 m
Max.	10.049 m
Median	1.049 m
Mean	1.539 m
Std. dev.	1.306 m
Skewness	3.601
Kurtosis	15.082

리하게 적용될 수 있다. 그리고 강수량, 양수량, 대기압 등의 자기상관함수와 비교함으로써 상호 간의 유사성을 검토할 수 있다.

길이 n 과 시차 τ 을 가지는 시계열의 자기상관계수 (autocorrelation)는

$$r_{\tau} = \frac{cov_{\tau}}{\sqrt{var y_t var y_{t+\tau}}} \quad (1)$$

와 같다. 여기서 y_t 는 측정값이고, τ 는 측정값들 간의 시차 (lag time)이다. 그리고 $var y_t$ 와 $var y_{t+\tau}$ 는 각각 y_t 와 $y_{t+\tau}$ 의 분산이다. 그리고 자기공분산 (autocovariance)은

$cov_{\tau} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-\tau} (y_t - \bar{y})(y_{t+\tau} - \bar{y})$ 이다. \bar{y} 는 평균값, n 은 측정값의 총 개수이다. 일반적으로 자기공분산은 0에서부터 $n/4$ 시차값 (lag number) 까지 계산된다.

계산된 자기상관계수는 시차값에 대한 자기상관함수 (autocorrelation function)로 도시된다. 자기상관함수는 주어진 시간에 대하여 자기값의 선형성과 기억효과를 가진다 (이진용과 이강근, 2002; Padilla and Pulido-Bosch, 1995; Larocque et al., 1998). 즉, 지하수위의 변동이 강한 선형성과 기억효과를 가질수록 긴 지연시간동안 자기상관함수가 0 이상의 값을 가지며, 약한 선형성과 기억효과를 가질수록 짧은 지연시간에 0에 수렴하게 된다.

2003년 1월 21일부터 2003년 7월 24일까지 대산면 갈전리 강변여과수 취수부지내에 설치된 11개의 관측공 중 비교적 긴 관측기간을 가지는 6개 관측공 (DS1, DS2, DS3, DS4, DS6, DS7)의 지하수위와 함께 수산교의 하천수위, 강수량, 취수정의 양수량 자료를 자기상관분석하였다. 6개 관측공의 수위관측 자료의 자기상관함수를 살펴보면, 3개의 그룹으로 구분될 수 있다 (Fig. 8). 1그룹 (DS1호공과 DS3호공)은 강한 선형성과 기억효과가 나타나며, 지연시간 약 30시간 후 자기상관함수가 0에 도달한다. 또한 자기상관함수는 갈수록 감소하며, 감소율은 낮아지고 있다. 지하수위 변동 폭은 관측기간이 경과할수록 커지는 경향성을 보이고 있으며, 최저수위도 상승하는 추세를 보이고 있다. 이러한 경향성은 자기상관함수의 감소추세에 의해서 확인이 가능하다. 낙동강수위, 강수량, 지하수 취수량과 관련하여 볼 때, 1그룹은 낙동강수위의 영향을 받으며, 상대적으로 취수정의 영향을 적게 받고 있음을 알 수 있다. 그 이유는 낙동강수위의 자기상관함수가 시간에 따라 감소하는 경향성을 보여주고 있기 때문이다 (Fig. 9). 이는 낙동강수위가 시간에 따라 상승하는 추세를 보여주는 것을 의미한다. 그러나, 취수량의 자기상관함수는 지연시간 12시간만에 0에 도달하며, 이후에는 0을 중심으로 변동하고 있다 (Fig. 9). 따라서, 1그룹과 취수량의 관련성은 낮은 것으로 판단된다.

2그룹은 중간정도의 선형성과 기억효과가 나타나는 그룹 (DS2호공과 DS6호공)으로, 역시 지연

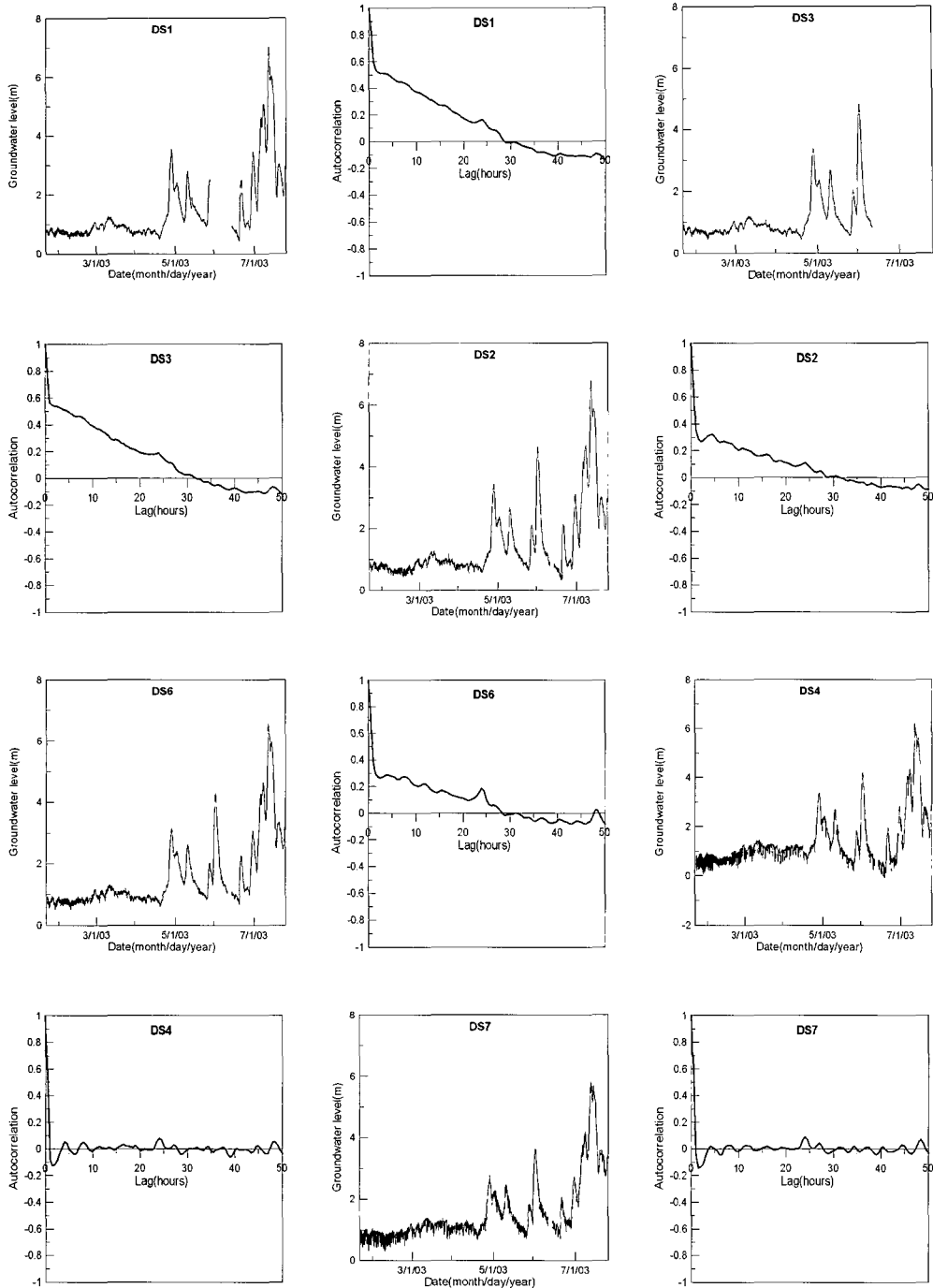


Fig. 8. Water level fluctuations and autocorrelation functions of half-hourly water level fluctuations at the monitoring wells.

창원시 대산면 강변층적층의 지하수위 변동 특성

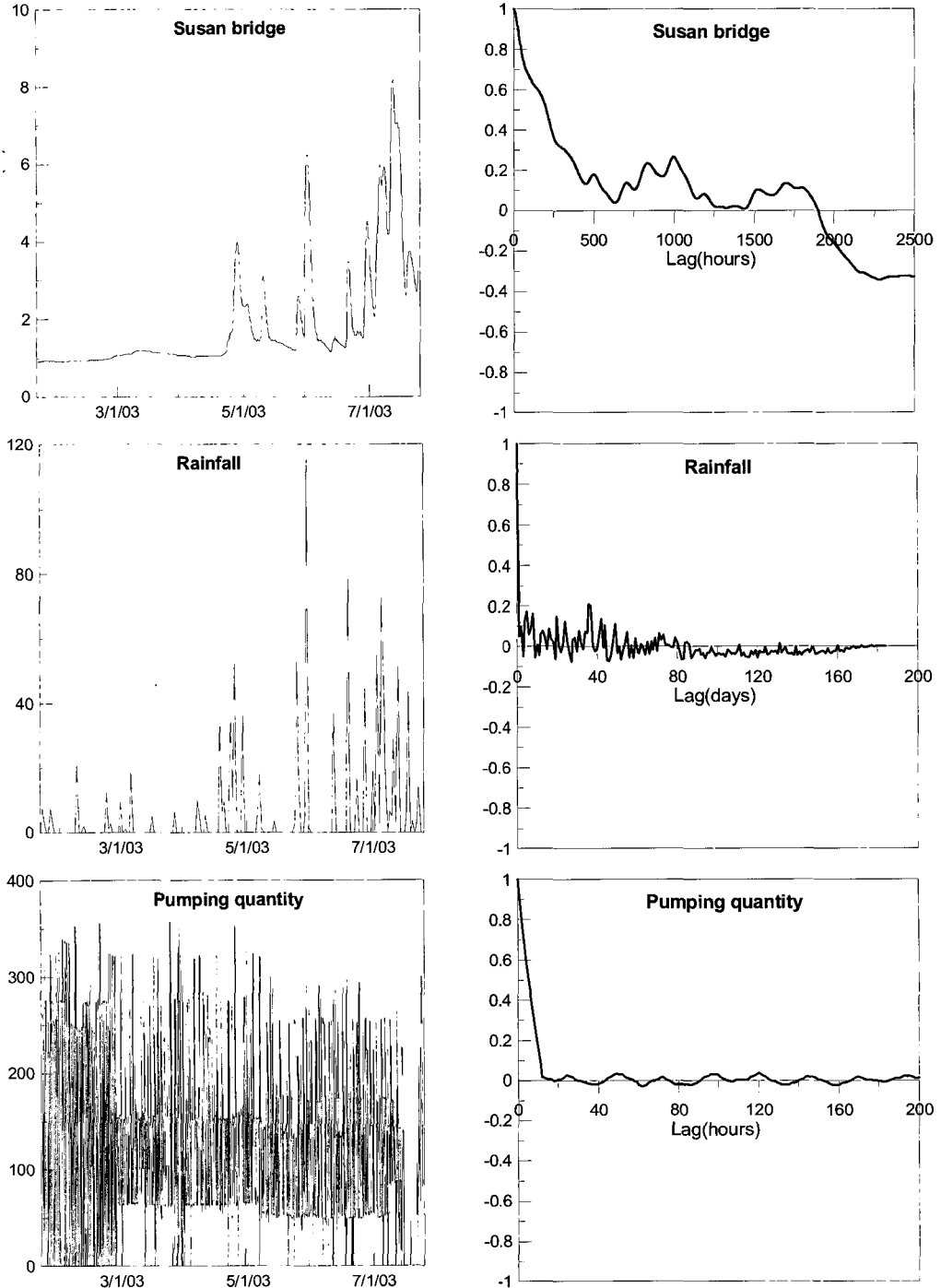


Fig. 9. Autocorrelation functions of half-hourly data of river-water level, rainfall and pumping quantity at the pumping wells.

시간 약 30시간 후 자기상관함수가 0에 도달하며, 약간의 감소 추세를 보이나 그 정도는 미약하다. 지하수위변동 곡선을 보면, 관측기간의 경과시간에 따라 지하수위 변동 폭은 커지지만, 최저수위는 거의 변하지 않고 있다. 낙동강수위와 지하수위의 자기상관함수를 비교하면, 지하수위와는 달리 낙동강수위의 자기상관함수의 감소 추세는 비교적 뚜렷하다. 또한 자기상관함수의 감소율이 1그룹보다 크다. 취수량의 자기상관함수와 2그룹의 자기상관함수는 후반부에서 약간 비슷한 형태를 보이며, 이는 2그룹이 취수량의 영향을 어느 정도 받고 있음을 지시한다.

3그룹(DS4호공과 DS7호공)은 가장 약한 선형성과 기억효과가 나타내며, 1그룹, 2그룹과는 달리 빠른 시간(3.5시간) 이내에 자기상관함수가 0으로 수렴된다. 3그룹의 자기상관함수는 낙동강수위의 것과는 달리 0에 수렴한 후에는 0을 중심으로 변동하고 있다. 이는 취수량의 자기상관함수와 닮은 형태이다. 따라서, 3그룹은 1, 2그룹보다 취수량의 영향을 상대적으로 많이 받고 있음을 지시한다. 3그룹의 지하수위 변동폭은 30cm 이상 나타나고 있다.

시기별 강수량 자료의 자기상관함수를 구해본 결과, 자기상관함수가 3일만에 0에 도달하는 빠른 감소를 보인다. 이는 일 강수량이 낮은 자기상관성과 낮은 기억효과를 보인다는 것을 의미한다. 또한 강수량의 자기상관함수와 지하수위의 자기상관함수를 비교하면, 자기상관함수의 경향성이 서로 다르게 나타난다. 이는 지하수위 변동이 강수에 의한 함양으로부터 유래한다는 일반적인 원칙과 맞지 않는 것처럼 보인다. 그러나, 지하수위 상승은 강수에 의한 함양의 누적값으로 대표되지만, 본 연구에서 강수량 자료의 자기상관함수 산정에서는 강수량의 누적값을 이용하지 않았기 때문으로 판단된다. 이것은 누적 강수량 자료의 시간 간격에 따라서 자기상관함수의 경향성이 달라질 수 있다는 것을 의미한다(Lee and Lee, 2000). 따라서, 앞으로 강수량의 누적값을 이용한 자기상관분석과 교차상관분석이 요구된다.

결 론

창원시 대산면 갈전리 강변여과수 취수장지역의 7개 취수정(PW1 ~ PW7)과 11개 관측공(DS1 ~ DS8, OW11, OW13, OW16)의 지하수위, 낙동강 수위, 강수량, 취수량 자료로부터 낙동강 강변충적층의 지하수 유동 및 계절적인 지하수위 변동 특성을 분석하였다.

취수정과 관측정 주변의 지질은 지표로부터 차례로 세립질 모래층, 중립질 모래층, 세립질 모래층, 모래자갈층, 안산암질 응회암의 풍화대로 구성되어 있다. 충적층 중에서는 모래자갈층이 주 대수층을 이루고 있다. 모래자갈층의 두께는 PW1, PW2, PW3, PW4호정 부근은 13.5m ~ 17.5m로서 두껍고, PW5, PW6, PW7 부근은 6.3m ~ 10.5m로서 얇다. 그리고 지하 약 48.5 ~ 54.0m 이하에서 신선한 기반암인 안산암질 응회암이 나타난다.

DS1 ~ DS8, OW11의 지하수위는 29.5 ~ 144.7cm(지하수위 변동폭 80cm 내외)로서 전체적으로는 수위가 약간 상승하는 경향성을 보인다. 지하수위는 낙동강 수위에 따라 변동하고 있는 것으로 나타난다.

2003년 2월 4일부터 2003년 10월 4일까지 계절에 따른 지하수위등분포를 보면, 전체적인 지하수위는 수두경사 0.008정도로써 낙동강쪽으로 갈수록 지하수위가 낮아지는 경향성을 보인다. 그러나, 강우에 의해서 일시적으로 낙동강 수위가 상승할 때는 반대로 낙동강 쪽의 지하수위가 더 높은 경향성을 보인다. 2월 18일과 6월 26일에는 낙동강과 평행한 흐름이 현저하게 일어나고 있으며, 이러한 흐름은 낙동강을 따른 표류수의 흐름이 배후지쪽에서 낙동강쪽으로의 지하수 흐름보다 상대적으로 강할 때에 나타나는 현상으로 해석된다.

6개 관측공(DS1, DS2, DS3, DS4, DS6, DS7)의 수위관측 자료의 자기상관함수는 3개의 그룹으로 구분될 수 있다. 1그룹(DS1호공과 DS3호공)은 강한 선형성과 기억효과가 나타나는 그룹이다. 2그룹(DS2호공과 DS6호공)은 중간정도의 선형성과 기억효과가 나타나는 그룹이다. 그리고 3그룹(DS4호공과 DS7호공)은 가장 약한 선형성과 기억효과가 나타나는 그룹이다. 이를 해석하면, 1그룹은 낙동강 수위의 영향을 상대적으로 많이 받

고 있으며, 2그룹은 낙동강 수위와 취수량의 영향을 동시에 받고 있고, 3그룹은 낙동강 수위보다는 취수량의 영향을 더 많이 받고 있는 것으로 나타난다. 이는 부지내에서 취수정의 위치에 따라 낙동강 수위와 취수량의 영향이 다름을 의미한다. 자기상관함수는 교차상관분석을 실시하기 이전에 지하수위와 하천수위, 강수량, 양수량 또는 기압간의 상호연관성을 이해하는데 도움을 줄 수 있다.

사 사

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 또한 현장 조사에 협조해주신 창원시청 관계자께도 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김남장, 이홍규, 1964, 한국지질도 영산도폭 (1:50,000), 국립지질조사소, 31p.
- 김주환, 백건하, 김형수, 김진삼, 윤성택, 2003, 낙동강 합안군 칠서 강변여과수 개발 예정 지역의 수리지구화학적 특성조사, 2003년 (사)지하수토양환경학회 춘계학술발표회, p. 561-564.
- 김형수, 함세영, 2003, 지하수 인공함양 기술 개발, 세계 물의 해 기념 지하수 심포지엄-21세기 지하수자원의 지속 가능한 개발, 이용 및 관리-, 한국지하수토양환경학회, 한국수자원공사, p. 39-55.
- 동아건설, 대덕공영, 2000, 읍면지역 상수도(대산 정수장계통) 취수정 설치공사 보고서, 28p.
- 이진용, 이강근, 강우에 대한 지하수위 반응양상 비교분석: 강원도 원주지역과 경기도 의왕지역, 한국지하수토양환경학회지, 제7권, 제1호, p. 3-14.
- 정재열, 함세영, 김형수, 한정상, 손건태, 차용훈, 장성, 2003, 창원 강변여과수 취수지역의 지하수위와 낙동강 수위의 연관성 분석, 2003년 (사)지하수토양환경학회 춘계학술 발표회, p. 227-230.
- 주식회사 삼중엔지니어링, 1999, 창원시 대산면 상수도 취수정 설치공사 지하수영향조사 보고서, 71p.
- 창원시, 1999, 창원시 상수도 확장사업 실시설계보고서(부록)
- 한국수자원공사, 1995, 하상퇴적층의 수리특성을 이용한 취수원 활용 시범조사 보고서.
- 한국수자원공사 수자원연구소, 1996, 하상퇴적층 여과방식에 의한 금강수도 취수개선 방안 조사·연구, WRRI-GG-96-2, 183p.
- 한국수자원공사 수자원연구소, 1998, 지하수 함양 및 활용증대방안 연구(1차년도), WRRI-GG-98-4, 104p.
- 한국수자원공사 수자원연구소, 1999, 지하수 함양 및 활용증대방안 연구, WRRI-GG-99-1, 198p.
- 한국수자원공사, 2002, 강변여과수 개발가능지점 및 개발가능량 조사 보고서, VII-124p.
- 함세영, 한정상, 정재열, 장성, 차용훈, 류수희, 김형수, 2003a, 창원 대산지구 강변여과수 취수지역의 층적층 지질과 수리전도도, 한국환경과학회 2003년도 봄 학술발표회, p. 237-241.
- 함세영, 황학수, 김형수, 정재열, 문창규, 차용훈, 장성, 2003b, 낙동강변 층적층 시추자료와 지구물리탐사자료의 연관성, 2003년 (사)지하수토양환경학회 춘계학술발표회, p. 552-556.
- 함세영, 김형수, 정재열, 장성, 차용훈, 류수희, 2003c, 합안 이룡지구 강변여과수 개발에 정지역의 수리적 특성, 2003년도 대한지질공학회 학술발표회, p. 159-163.
- 함세영, 이효민, 김광성, 정재열, 우윤정, 오윤영, 김형수, 2002a, 창원시 대산면 강변여과수 취수지역의 수리적 특성, 한국환경과학회 2002년도 봄 학술발표회 및 10주년 기념 국제 학술워크샵, p. 241-244.
- 함세영, 이효민, 정재열, 김무진, 류상민, 우윤정, 김형수, 2002b, 창원시 대산면 강변여과수 개발에 따른 수위하강 예측, 한국환경과학

회 2002년도 봄 학술발표회 및 10주년 기념 국제 학술워크샵, p. 219-222.

함세영, 정재열, 류상민, 김무진, 김형수, 2002c, 창원시 대산면 강변여과수 취수지역의 수리지질 특성, 지질학회지, 제38권, 제3호, p. 595-610.

현승규, 우남철, 신우식, 함세영 2003, 강변여과수 개발부지의 수리지화학적 특성-Preliminary results, 2003년 (사)지하수토양환경학회 춘계학술발표회, p. 552-556.

환경부, 부산광역시, 경상남도, 1996, 부산·경남지역 복류수 및 강변여과수개발 타당성 조사 보고서(실험보고서 포함).

환경부, 경상남도, 1998, 이룡지구 강변여과수 시범개발 조사사업 실증실험보고서, 193p.

Cheong, J. Y. , Hamm, S.-Y., Kim, H. S. , Son, K. T., Baek, K. H., Won, L. J., Cha, Y. H., and Ryu, S. H., 2003, Analysis of ground-water level fluctuation at riverbank filtration site in Changwon area, Proceedings of the 5th Cross Straits Symposium on Materials, Energy and Environmental Sciences, p. 189-190.

Duffy, C. J. and Gelhar, L. W., 1986, A frequency domain analysis of groundwater quality fluctuations: interpretation of field data , Water Resour. Res., v. 22, n. 5, p. 1115-1128.

Hamm, S.-Y., Kim, H.-S., Cheong, J.-Y., Ryu, S. M., and Kim, M. J., 2003, Hydrogeological Properties of Bank Storage Area in Changwon City, Korea, EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France.

Lacocque, M., Mangin, A., Razack, M., and Banton, O., 1998, Contribution of correlation and spectral analysis to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France), Journal of Hydrology, v. 205, p. 217-231.

Lee, J.-Y. and Lee, K.-K., 2000, Use of hydrologic time series data fro

identification of recharge mechanism in a fractured bedrock aquifer system, Journal of Hydrology, v. 229, p. 190-201.

Padilla, A. and Pulido-Bosch, A., 1995, Study of hydrographs of karstic aquifers by means of correlation and cross-spectral analysis, Journal of Hydrology, v. 168, p. 73-89.

투 고 일	2003년 10월 6일
심 사 일	2003년 10월 7일
심사완료일	2003년 11월 10일

정재열
 부산대학교 지질학과
 609-735, 부산광역시 금정구 장전동 산 30
 Tel: 051-510-3451
 Fax: 051-516-7767
 E-mail: jjy@pusan.ac.kr

함세영
 부산대학교 지질학과
 609-735, 부산광역시 금정구 장전동 산 30
 Tel: 051-510-2252
 Fax: 051-516-7767
 E-mail: hsy@pusan.ac.kr

김형수
 한국수자원공사 수자원연구원
 305-730, 대전광역시 유성구 전민동 462-1
 Tel: 042-860-0330
 Fax: 042-860-0339
 E-mail: hskim@kowaco.or.kr

손건태
 부산대학교 지질학과
 609-735, 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지
 Tel: 051-510-2215
 E-mail: ktsohn@pusan.ac.kr

창원시 대신면 강변충적층의 지하수위 변동 특성

차용훈

부산대학교 지질학과

609-735, 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지

Tel: 051-510-3451

Fax: 051-516-7767

E-mail: geocyh@pusan.ac.kr

장성

부산대학교 지질학과

609-735, 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지

Tel: 051-510-3451

Fax: 051-516-7767

E-mail: jjam0bab@hanmail.net

백건하

한국수자원공사 수자원연구원

305-730, 대전광역시 유성구 전민동 462-1

Tel: 042-860-0331

Fax: 042-860-0339

E-mail: ghbaek@kowaco.or.kr

정재열 · 함세영 · 김형수 · 손건태 · 차용훈 · 장성 · 백건하