

기존기법과 ARIMA기법을 활용한 최종 침하량 예측에 관한 비교 연구

A Comparative Study on the Prediction of the Final Settlement Using Preexistence Method and ARIMA Method

강 세 연[†]
Seyeon Kang

Received: July 24th, 2019; Revised: August 5th, 2019; Accepted: August 29th, 2019

ABSTRACT : In stability and settlement management of soft ground, the settlement prediction technology has been continuously developed and used to reduce construction cost and confirm the exact land use time. However, the preexistence prediction methods such as hyperbolic method, Asaoka method and Hoshino method are difficult to predict the settlement accurately at the beginning of consolidation because the accurate settlement prediction is possible only after many measurement periods have passed. It is judged as the reason for estimating the future settlement through the proportionality assumption of the slope which the preexistence prediction method computes from the settlement curve. In this study, ARIMA technique is introduced among time series analysis techniques and compared with preexistence prediction methods. ARIMA method was predictable without any distinction of ground conditions, and the results similar to the existing method are predicted early (final settlement).

Keywords : Consolidated ground, Settlement prediction technique, Time series analysis technique

요 지 : 연약지반 안정 및 침하관리에 있어 침하예측기술은 지속적으로 발전되어 공사비 절감과 정확한 토지사용 시기를 확인하는데 활용하고 있으나, 기존 예측방법인 쌍곡선법, Asaoka법, Hoshino법 등은 많은 계측기간이 경과되어야 정확한 침하예측이 가능하여 압밀초기 신속한 예측이 어려운 실정이다. 기존 예측방법이 침하곡선으로부터 산정한 기울기의 비례성 가정을 통해 장래침하량을 추정하는 사유로 판단된다. 본 연구에서는 시계열 분석기술 중 ARIMA 기법을 도입하여 기존예측방법과 비교 분석하였다. ARIMA 기법은 지반조건 구분 없이 예측 가능하였으며, 기존방법과 유사한 결과를 조기에 예측(최종침하) 할 수 있었다.

주요어 : 압밀지반, 침하예측기법, 시계열분석기법

1. 서 론

제한된 국토의 한계성과 물류이동 용이성으로 인해 대규모 산업단지 등은 대부분 해안지역에 위치하고 있으며, 그 부지를 조성하기 위해서는 연약지반처리를 포함할 수밖에 없는 실정이다. 이로 인해 지반개량에 많은 비용과 시간이 수반되고 사업의 성공적인 추진을 위해서는 개량방법 및 관리방법이 중요한 인자이다.

최근까지도 연약지반 개량을 위해서 다양한 처리기법이나 설계이론 등이 제시되었지만 지반의 불균등성과 이론상의 불확실성을 내재할 수밖에 없어 많은 어려움을 야기하고 있다. 이러한 문제점을 최소화하기 위해서 공사현장에서는 계측을 통한 시공관리기술을 도입하여 적용하고 있으며, 침하 관리기술 역시 다양한 기법이 제안되고 있지만 최근까지도 그 한계성을 갖고 있는 것이 현실이다.

특히 최근까지 실무에서 널리 사용되고 있는 침하관리기법인 쌍곡선법, Asaoka법, Hoshino법은 성토 완료 후 약 50% 이상의 경과시점부터 침하예측이 가능하고, 이에 따른 정확성 역시 부족하여 성토 후 압밀 초기에 신속한 침하관리가 어렵다는 단점을 갖고 있다(Han, 2004). 이로 인해 많은 연구자들이 계측자료 분석을 통한 새로운 침하 예측기법을 제안하고 있으며, 대표적인 연구로는 Sin et al.(1998)이 제안한 현장계측에 의한 연약지반의 침하평가, Kim & Kim(2005)이 제안한 압밀침하 계측분석기법의 개발에 관한 연구, Kim et al.(2007)이 제안한 인공신경망을 이용한 연약지반 침하 예측 연구, Woo et al.(2008)이 제안한 점층선행하중으로 개량하는 연약지반 계측침하량 예측방법 개발 등이 있다.

최근까지의 다양한 연구결과에도 실무에서는 아직까지 쌍곡선법을 비롯한 Asaoka법, Hoshino법을 널리 사용하고 있다. 이것은 제안된 침하기법 역시 획기적으로 예측을 위

[†] Graduate Student, Department of Urban Disaster Prevention Management Engineering, Kyonggi University (Corresponding Author : ksy@kwater.or.kr)

한 경과시점을 단축하거나, 예측의 정확성 또한 차별화된 장점을 갖지 못한다는 한계성이 있기 때문이다. 이는 기존 예측기법이 대부분 침하계측곡선으로부터 분석한 지수의 비례성을 확보하여 침하량을 추정하기 때문에 발생되고 있다고 판단된다.

그러나, 압밀지반의 계측자료는 시간에 따른 침하량을 표시하는 시계열자료라 할 수 있다. 이에 따라 시간적 자료를 통해 장래의 결과분석에 사용되는 시계열 분석기법을 적용하게 되면 보다 빠르고 정확하게 장래 침하량을 분석 가능할 것으로 판단된다.

단계 성토 시의 침하예측에 대한 연구(Lim & Kim, 2012; Lim, 2009)에서 시계열 분석방법 중 ARIMA 기법에 대하여 최종 완성단계에서의 계측자료뿐만 아니라 이전의 단계 성토기간에 계측된 자료로부터 수학적 모델을 구축하기 때문에 단계성토에서도 비교적 정확한 예측이 가능하며, 이러한 특성은 기존의 최종 완성단계의 계측 데이터만을 활용하여 침하량을 예측하는 기존의 침하 예측기법에 비해 우수한 기법으로 제안하였다.

본 연구에서는 연약지반 침하 예측기법에서 시계열 분석 기술의 활용 가능성을 검증 코져, 남해안(정규압밀 지반특성) 및 서해안(과압밀 지반특성)에서 시행된 단지 조성공사의 계측자료를 활용하여 시계열 분석기법 중 ARIMA 기법과 기존 침하량 예측기법(쌍곡선법, Asaoka법, Hoshino법)을 비교 분석하여 연약지반 침하 예측에 대한 실무활용성을 평가하고 검증하였다.

2. 이론적 배경

2.1 예측방법의 분류

사업 추진에 있어 장래의 결과를 예상한다는 것은 미래에 대한 준비 측면 및 사업 성패에 있어 매우 중요한 일이지만, 발생되지 않은 일에 대한 추정임으로 많은 불확실성이 내재되어 있어 매우 어려운 일이다. 따라서 이에 따른 불확실성을 단순화 및 최소화하기 위해서 여러 가지의 방법들이 소개되었고, 크게 정성적(주관적) 예측방법과 정량적(객관적) 예측방법 등으로 분류되며 Fig. 1에 나타내었다(Mann et al., 2009).

정성적 예측방법에는 PERT기법, 델파이법, 유추법 등이 있으며, 검토자의 주관적인 판단을 사용하기 때문에 개인적인 특성이 중요시된다. 또한 이 방법은 기본 자료가 부족하거나 장기적 예측의 성격을 나타내는 경우에 주로 사용된다. 정량적 예측방법에는 벡터자기회기, 회귀분석, 인공신

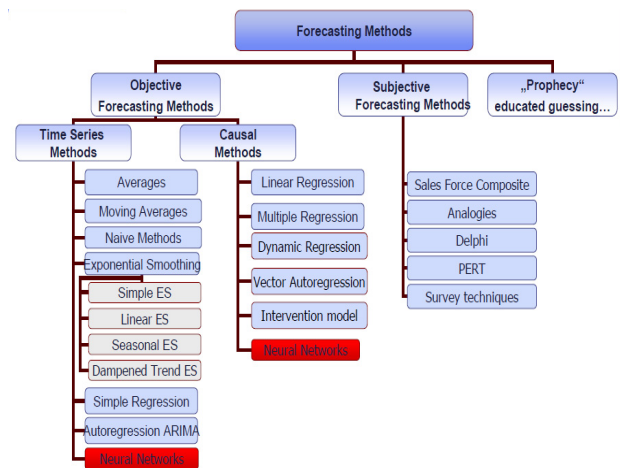


Fig. 1. Classification of prediction methods

경망 등의 인과형 기법과 지수평활법, 이동평균법, 추세분석법, ARIMA 등의 시계열 분석방법이 있으며, 과거의 객관적 자료를 사용하여 미래의 수요를 예측하는 방법이다.

2.2 기존 침하예측방법

연약지반처리에 있어 침하관리는 안정관리와 함께 실시되고 있으며, 침하관리의 주요 목적은 설계 시 불확실성에 대한 가정과 복잡한 지반특성을 단순화하여 설계하기 때문에 실측 침하곡선에 적합한 곡선식을 도출하여 성토량 파악, 설계침하량 확인, 재하기간 및 제거시기 결정, 잔류침하량검토 등이 있다.

계측치를 활용한 최종 침하량 산정기법은 실측곡선에 의한 침하량 계산과 이론곡선에 의한 침하량 계산이 있다. 쌍곡선법, Hoshino법은 경험에 의한 침하량 계산법이고 Asaoka법은 이론적인 계산법이며, 예측방법에 대한 그래프는 Fig. 2에 나타내었다(Kim, 2008).

쌍곡선법은 침하진행의 평균속도가 쌍곡선적으로 감소한다는 가정으로부터 재하기간 내 실측침하량에 의해 장래 침하량을 예측하는 기법으로써, 성토 완료 후 실측침하량을 기초로 경과시간(t)과 t/(St-So)의 점들을 도시하고 이 점들 중 후반부 직선 부분을 연결하는 가정선을 결정하여 침하량을 산정하는 기법이다(Tan et al., 1991).

Hoshino법은 유동변형을 내포한 침하량은 시간의 평방근에 비례한다는 가정으로 장래침하량을 예측하는 기법으로 성토완료 후 실측침하량을 기초로 경과시간(t)과 t/(St-So)²의 점들을 도시하고 이 점들 중 후반 직선부분을 추정하여 미지수(A, K)를 통해 침하량을 산정하는 기법이다(Hoshino, 1962).

Asaoka법은 1차원 압밀방정식을 이용하여 성토완료 후 하중이 일정할 때 침하량을 나타내는 간편식으로 실측 침하

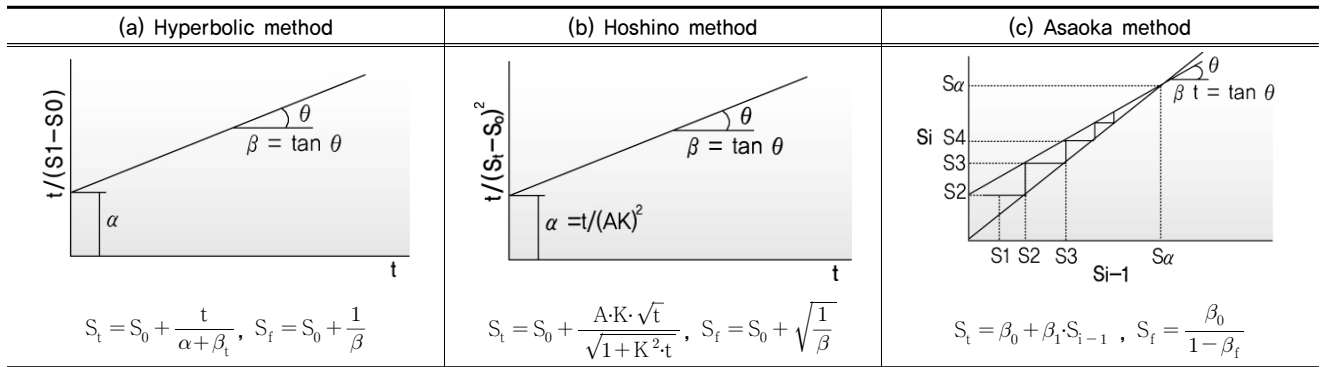


Fig. 2. Settlement prediction graph

료로부터 침하의 시간적 변화도를 통해 동일 단위시간(Δt)에 대응하는 침하량 S_1, \dots, S_i 를 구하고 $(S_1, S_2), \dots, (S_{i-1}, S_i)$ 의 점들을 도시하고 이 점들을 연결하는 직선을 결정하여 침하량을 산정하는 기법이다(Asaoka, 1978).

3. 시계열분석기법 적용연구

3.1 ARIMA 기법

압밀 예측에서 일반적으로 활용되는 회귀모형의 단점은 구조적 변화가 급속히 진행될 경우 적절히 반영하지 못하는 점과 변수선택이 설계자의 주관에 의해 결정된다는 점이다. 이를 극복하는 방법으로 제시된 것이 ARIMA 모형이다.

ARIMA 모형은 현재의 계측치(Z_t)가 과거의 어떤 경험과 규칙에 의해 변경되었기 때문에 미래에도 이 규칙성은 유지된다는 추정을 기본으로 미래를 예측하는 모형이다(Mann et al., 2009).

다만, ARIMA 모형은 변수들 사이의 상호작용을 감안하지 않는 일변량 분석이라는 한계가 있으나, 압밀침하 예측 분야에서는 시간에 따른 침하량(일변량)을 분석하는 것으로 적절한 모형이라 판단된다. 보편적으로 시계열 자료는 다양한 변동요소들과 연관되어 구성되며, 이러한 요소들이 복합적으로 작용하여 관측되므로 따로 분리하여 모형을 구성할 수는 없으나, 불규칙 변동요소들의 특성에 따라 다양한 모형을 만들 수 있다. 이러한 모형들을 기본으로 데이터 그래프를 분석하거나 이론적인 해석으로 변동요소들을 분리시킴으로써 변동의 원인을 파악하고 미래 예측을 진행할 수 있다. ARIMA(p, d, q)의 시계열 모형은 특정된 가정에서 산정된 변수들 간의 상호관계를 적용하지 않고, 현재 시점 계측 값과 과거시점 계측 값 사이의 오차형태로 표현하는 모형으로 전통적인 회귀방법보다 단일변수 시계열 모형임에도 단기예측에서는 높은 정확성을 갖고 있다.

경과시간에 따라 분산과 평균이 일정하지 않은 시계열 즉, 비정상 시계열은 시계열 모형으로 검토가 어려우나, 평균값이 경과시간에 따라 지속적으로 증가 또는 감소하는 경향이 있는 경우에는 추세요인을 갖고 있음을 의미하고, 이러한 변동은 Eq. (1)과 같이 차분을 하여 시계열의 추세요인을 제거할 수 있다.

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (1)$$

만일 추세요인이 확정적이면 시계열에서 시간함수로 추세를 검토하여 안정적 계열로 변환시키게 된다. 또한 추세가 존재하는 시계열의 경우 자기상관함수가 점진적으로 감소하고, 부분적 자기상관함수가 0차에 있어서는 매우 큰 값을 갖는다. 또한, 계절적인 변동성이 명확하다면 계절차수의 차분을 실시할 수 있으며, 분기의 경우에는 4차 차분을 하고, 월 단위일 경우 Eq. (2)와 같이 12차 차분을 한다.

$$\Delta_{12} Y_t = Y_t - Y_{t-12} \quad (2)$$

만일 분산이 시간에 연동되어 일정하지 않으면 보통 변수 변환을 이용하여 시계열을 안정화시키며, 통상적으로 로그변환을 시행하고, Eq. (3)과 같이 1차를 차분하여 ARIMA(p,q) 모형이 산정되는 형태에는 ARIMA(p,1,q) 모형이라 한다.

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 \Delta Y_{t-1} + \dots + \phi_p \Delta Y_{t-p} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \epsilon_{t-q} + \epsilon_t \quad (3)$$

또한, d를 차분을 하여 ARMA(p,q) 모형이 산정되는 형태를 ARIMA(p,d,q) 모형이라 하며, 이러한 ARIMA 모형으로 대부분의 시계열자료를 나타낼 수 있다.

예시를 들면 분산이 시간함수가 되어 시간이 경과되면서 커지는 임의보행(Random Walk) 모형을 ARIMA 모형으로 나타내면 Eq. (4)와 같이 ARIMA(0,1,0) 형태로 표기된다.

$$Y_t = Y_{t-1} + \epsilon_t \quad (4)$$

더불어, 시계열자료가 직선 경향을 갖고 증가되는 경우 Eq. (5)와 같이 시계열 모형으로 표시할 수 있다.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \epsilon_t \quad (5)$$

Eq. (5)와 같은 시계열 모형을 선형추세(Linear Trend)모형이라 하며, $\beta_0 + \beta_1 t$ 항은 추세요인을 표현하고, ϵ_t 는 독립항으로 평균은 0이며, 분산(σ^2)을 갖는 오차(백색잡음계열)항이다. 또한, β_0 와 β_1 은 미지의 모수이고, 추세요인이 곡선형태로 표현되는 경우에는 Eq. (6)의 고차 시간모형으로 나타낸다.

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t^1 + \dots + \beta_k t^k + \epsilon_t \quad (6)$$

시계열 기법 중 ARIMA 모형은 3단계를 통해 작성되며, 1단계는 모형의 식별단계로 ARIMA(p,d,q) 모형에서 p, d, q항을 도출하거나 Eq. (6)의 추세모형에서 차수 k를 확정하는 것이다. 이는 시계열에 대한 기초검토를 통해 이루어지며, 표본 자기상관계수, 시계열도표, 부분자기상관계수 등의 변화정도를 보며 모형의 형태를 확정하게 된다.

2단계는 시계열 모형의 모수들 값을 산정하게 되며 Eq. (3) 또는 Eq. (6)을 통해 모형을 추정하게 된다. 회귀계수값의 추정방법은 조건부 최소자승법, 최우추정법, 비조건부 최소자승법 등이 있다.

마지막 3단계는 시계열 모형진단 단계로 산정된 시계열 모형의 잔차($Y_t - \bar{T}_t$)가 임의적인 것인지를 검증하는 것이다. 만일 시계열 모형의 잔차가 임의적인 것이라면 더 이상 시계열 모형화를 할 수 없다고 판단하고 시계열 모형을 확정하게 된다. 산정된 시계열 모형 잔차의 임의성 판단은 잔차의 표본부분 자기상관함수, 표본 자기상관함수를 통하여 검토되어지며, 잔차의 상관함수가 모든 시차에서 0에 근접되면 잔차는 임의성이 있고, 시계열 모형으로 적절히 산정된 것으로 판단된다.

3.2 ARIMA 기법 결정절차

ARIMA 기법을 활용하여 예측을 수행하기 위해 Fig. 3과 같은 단계를 따라 모형을 결정하였으며, 모형 개발은 일변량 및 다변량 시계열 계량분석을 위한 오픈 소스 소프트웨어인 “JMulTi”을 활용하였다.

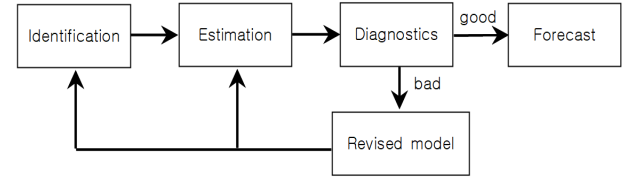


Fig. 3. ARIMA model decision procedure

4. 결과 및 고찰

4.1 연구대상지

연구 대상지는 남해안 지역(정규압밀)의 여수산업단지과 서해안 지역(과압밀)의 시화산업단지로 위치는 Fig. 4에 나타나 있다. 여수산업단지는 전라남도 여수시(화치동, 중흥동 외)에 위치하며 해성점토를 준설매립 후 연직 배수재(Prefabricated Vertical Drain) 시공을 통해 연약지반을 개량하는 공법을 적용하여 조성하였다. 연약지반의 설계정수는 Table 1과 같음

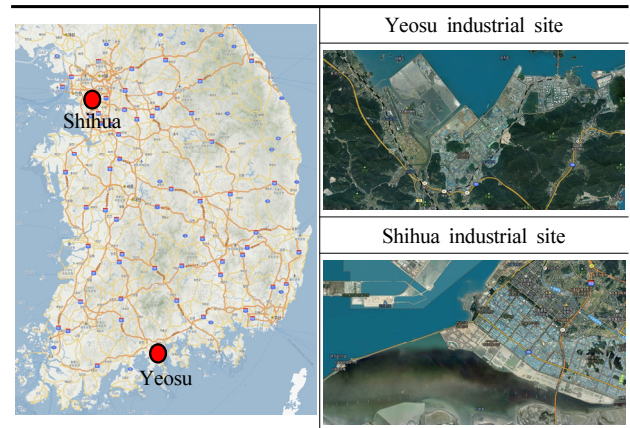


Fig. 4. Study area with two site investigation locations

Table 1. Soft ground design parameter

Sortation		Unit weight (γ_t , kN/m ³)	Void ratio (e_o)	Water content (w, %)	Compression index (C_c)	Coefficient of consolidation (c_v , cm ² /sec)	
						Vertical	Horizontal
Yeosu industrial site	Dredging clay	14.7	2.35	100.0	1.00	5.0×10^{-4}	$6.0 \sim 9.7 \times 10^{-4}$
	Ground clay	16.5	1.65	60.8	0.90	3.0×10^{-4}	$3.6 \sim 4.5 \times 10^{-4}$
Shihua industrial site	Over consolidation	17.8	0.90	100.0	0.28	7.0×10^{-3}	1.4×10^{-2}
	Normal consolidation	17.6	0.92	60.8	0.28	7.0×10^{-3}	1.4×10^{-2}

며, 이 단지의 연약지반은 통일분류법에 따라 CL과 CH으로 분류된다. 서해안 점토지반에 비해 압축지수(C_c), 초기간극비(e_0)가 크며, 연약지반 심도는 약 10~23m(원지반+준설토)을 보이고 있다.

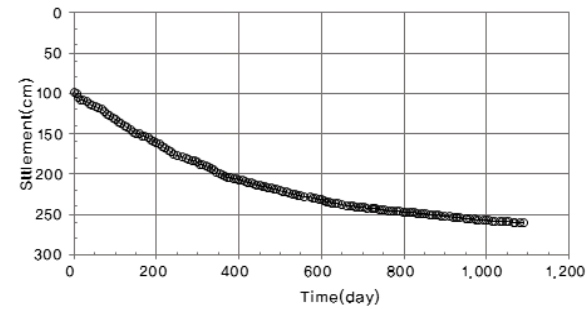
시화산업단지는 경기도 안산시와 시흥시 일원에 위치하며 수평배수층 및 양질토 성토 후 연약지반개량공법(여성쌓기, PBD)을 적용하여 단지를 조성하였다. 연약지반 심도는 13~20m로 여수산업단지 대상지역과 유사한 심도를 보

이고 있으며, 연약지반 지반특성은 통일분류법에 따라 ML로 압축지수(C_c), 압밀계수(c_v), 초기간극비(e_0) 등이 남해안 점토지반에 비하여 낮은 값을 나타내고 있다.

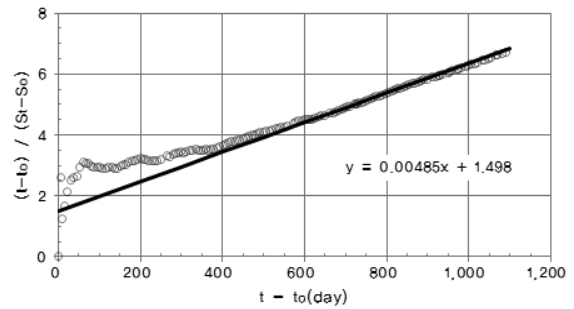
4.2 기존 침하예측기법 분석결과

4.2.1 여수산업단지 분석결과

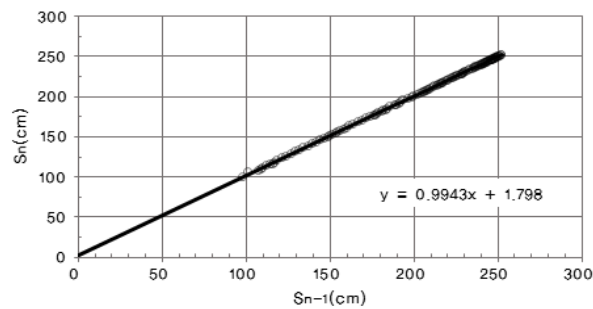
대표지점(No.1, No.2)에 대하여, 성토단계(점증하중 재하기간)의 초기 데이터는 비례성이 부족하여 성토완료 후의 계



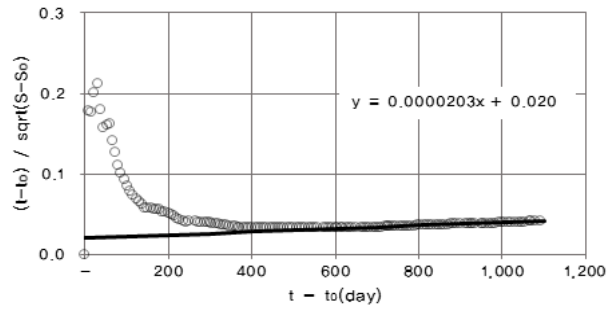
(No.1) Actual measurement settlement



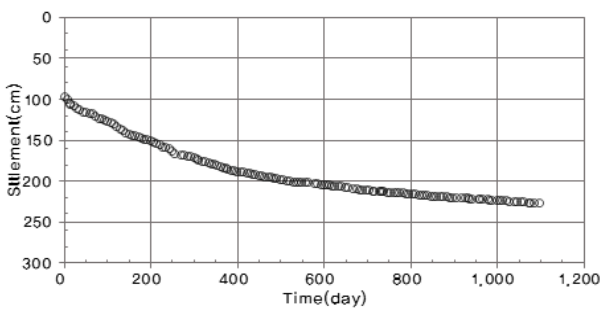
(No.1) Hyperbolic method



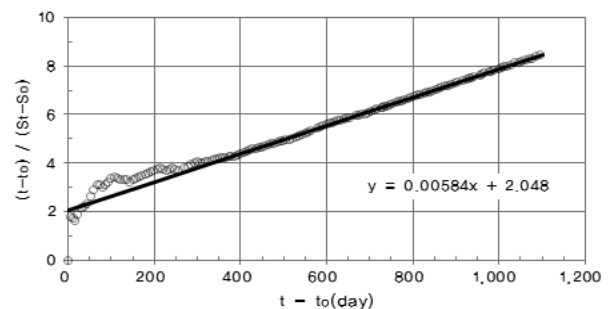
(No.1) Asaoka method



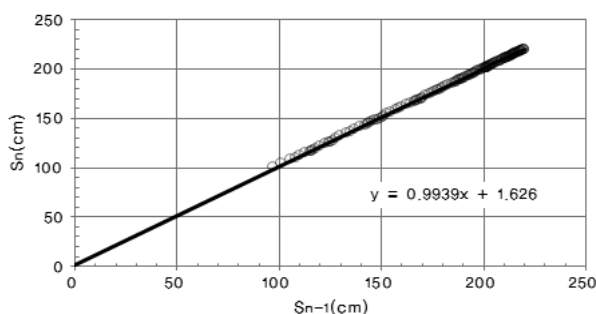
(No.1) Hoshino method



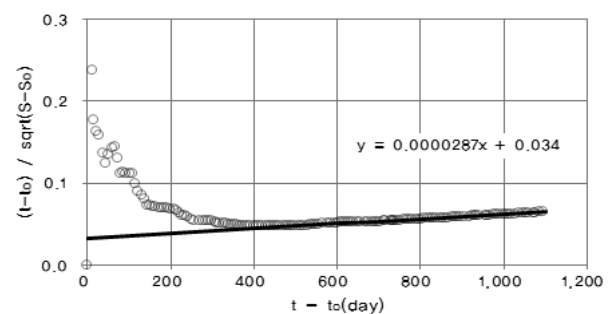
(No.2) Actual measurement settlement



(No.2) Hyperbolic method



(No.2) Asaoka method



(No.2) Hoshino method

Fig. 5. Final settlement prediction graph (No.1, No.2)

Table 2. Final settlement prediction result by elapsed time (No.1, No.2)

Elapsed time (Day)	No.1						No.2					
	Hyperbolic method		Asaoka method		Hoshino method		Hyperbolic method		Asaoka method		Hoshino method	
	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)
200	432.9	142	520.2	166	-	-	304.0	113	185.4	70	-	-
300	486.9	160	401.4	128	-	-	342.5	128	194.2	73	-	-
400	497.5	164	462.2	148	471.8	147	360.4	135	206.5	78	-	-
500	384.0	126	310.0	99	445.7	139	334.0	125	237.8	90	476.1	168
600	344.8	113	323.0	103	362.5	113	285.5	107	236.1	89	300.4	106
700	349.1	115	302.8	97	314.8	98	276.8	103	251.1	95	291.8	103
800	304.5	100	284.2	91	327.3	102	273.5	102	257.7	97	279.1	98
900	304.2	100	313.0	100	320.3	100	268.0	100	265.5	100	283.5	100

측데이터를 활용하였으며, 기존 압밀침하 예측기법(쌍곡선법, Asaoka법, Hoshino법)에 따라 각각의 단위 경과시간 별로 분석하였다. Fig. 5와 Table 2는 3가지 기법으로 검토한 결과를 정리한 것이다.

그 결과, 초반부 분석에서는 오차가 심하였으며, 쌍곡선법은 예측 약 600일 이상 경과 후 최종 침하량에 근접(107%, 113%)한 분석값을 예측 가능하였으며, Asaoka법은 약 500일 정도 경과 후 최종 침하량에 근접(90%, 99%)한 분석값을 예측 가능하였다. 또한, Hoshino법에 의한 예측 분석값은 약 300일 이전에는 분석이 불가능하였으며, 약 600일 경과 후 최종 침하량에 근접(106%, 113%)한 예측이 가능하였다.

4.2.2 시화산업단지 분석결과

대표지점(No.3, No.4)에 대하여 성토완료 후의 계측데이터를 활용하여 기존 예측기법(쌍곡선법, Asaoka법, Hoshino법)을 통해 최종 침하량에 근접한 시점을 분석하여 Fig. 6과 Table 3에 정리하였다. 그 결과, 쌍곡선법은 약 200일과 400일 경과시점에서 최종 침하량에 근접(104%, 106%)한 예측

이 가능하였고, Asaoka법은 약 200일과 300일 경과시점에서 근접(100%, 106%)한 예측이 가능하였다. 또한, Hoshino법에 의한 분석값도 약 300일 이상 경과시점에서 최종 침하량에 근접(103%, 106%)한 분석 값을 예측 가능하였다.

4.3 ARIMA 분석기법 결과

4.3.1 ARIMA 분석결과

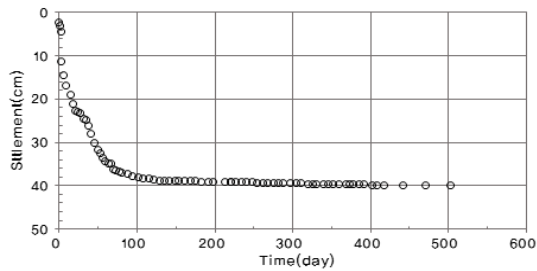
ARIMA 기법을 통한 경과시간별 최종 침하량에 대한 예측 결과와 기존 압밀침하 예측기법의 비교 분석결과는 Table 4, 5와 같으며, 이를 시간에 따른 침하곡선으로 표현하면 Fig. 7, 8과 같다.

여수산업단지(No.1, No.2)의 시간에 따른 침하곡선으로 표현한 결과, 기존 침하예측기법은 성토완료 후 약 500일 경과시점 이후 예측 최종 침하량에 근접(90%~113%)한 수준을 보였으나, ARIMA 기법으로 분석한 결과는 성토 완료 후 약 300일 경과시점부터 예측 최종 침하량에 근접(87%, 102%)함을 알 수 있었다.

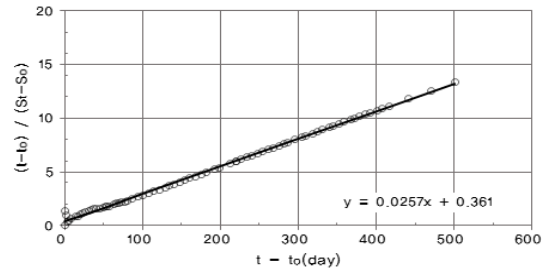
시화산업단지(No.3, No.4)의 분석 결과, 기존 침하예측기

Table 3. Final settlement prediction result by elapsed time (No.3, No.4)

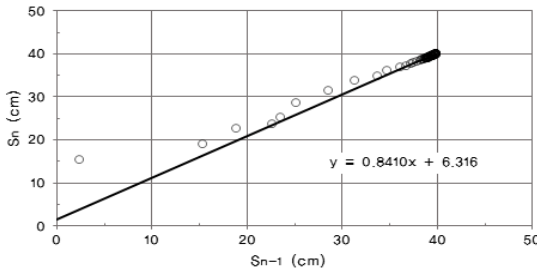
Elapsed time (Day)	No.3						No.4					
	Hyperbolic method		Asaoka method		Hoshino method		Hyperbolic method		Asaoka method		Hoshino method	
	Predictive final settlement (cm)	Proximity Rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)
50	39.2	95	52.3	132	50.4	121	30.6	69	25.2	60	24.1	54
100	48.7	118	44.1	111	66.0	158	33.0	74	28.5	68	61.6	137
200	43.9	106	39.7	100	46.8	112	51.5	116	50.9	121	77.1	171
300	41.9	102	39.6	100	43.0	103	49.4	111	44.6	106	50.5	112
400	41.3	100	39.6	100	42.0	101	46.4	104	43.0	102	47.5	106
500	41.2	100	39.7	100	41.8	100	44.5	100	42.2	100	45.0	100



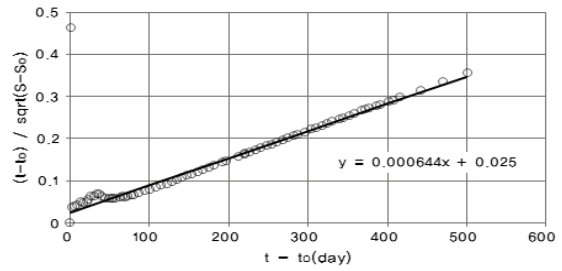
(No.3) Actual measurement settlement



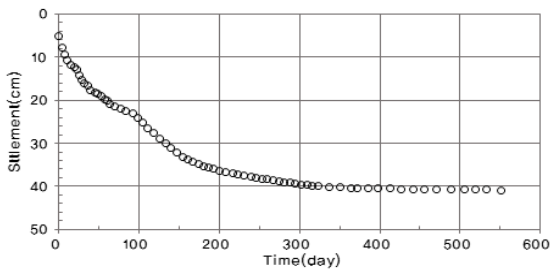
(No.3) Hyperbolic method



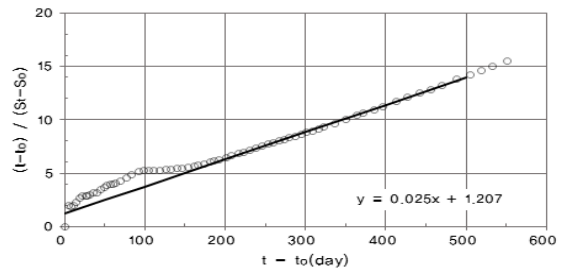
(No.3) Asaoka method



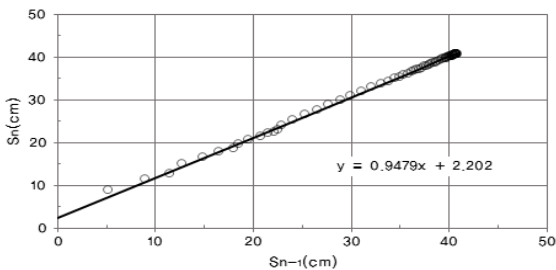
(No.3) Hoshino method



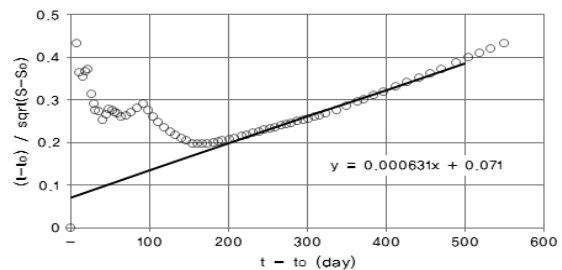
(No.4) Actual measurement settlement



(No.4) Hyperbolic method



(No.4) Asaoka method

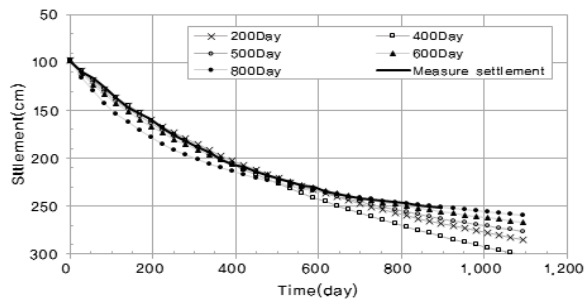


(No.4) Hoshino method

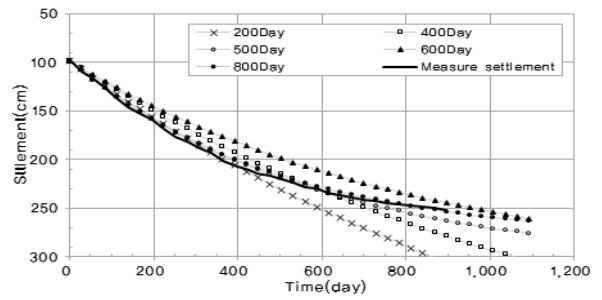
Fig. 6. Final settlement prediction graph (No.3, No.4)

Table 4. ARIMA method and conventional analysis result (No.1, No.2)

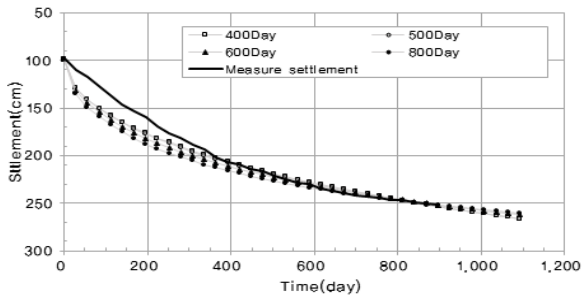
Elapsed time (Day)	No.1			No.2		
	ARIMA method		Conventional method	ARIMA method		Conventional method
	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Proximity rate (%)
200	236.9	81		208.7	79	
300	298.2	102		226.4	87	
400	294.7	101		248.9	95	
500	285.1	98	99	260.2	100	90
600	292.1	100	113	268.9	103	106,107
700	294.3	101		263.8	101	
800	292.3	100		264.3	101	
900	291.6	100		261.5	100	



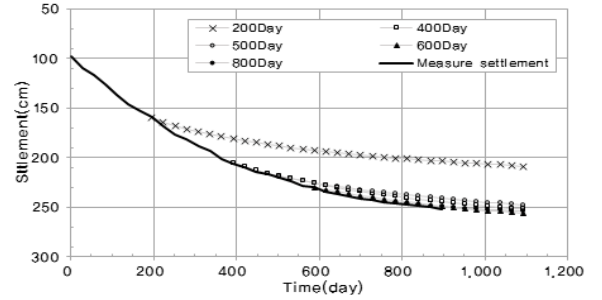
(No.1) Hyperbolic method



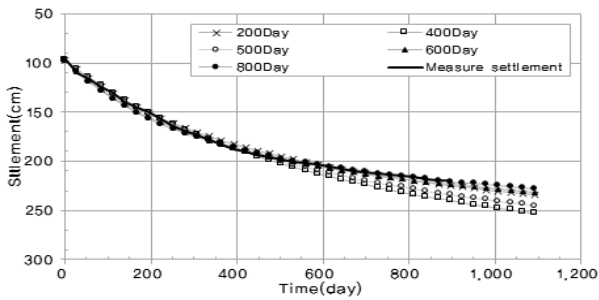
(No.1) Asaoka method



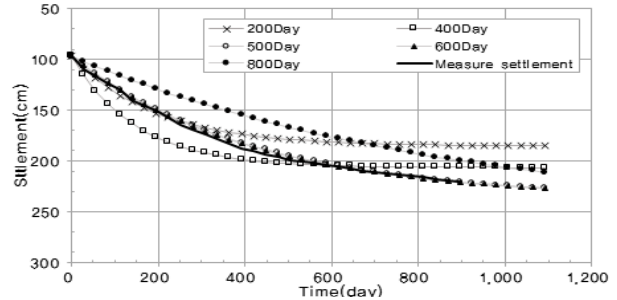
(No.1) Hoshino method



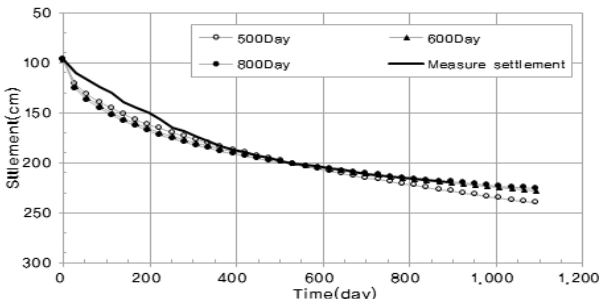
(No.1) ARIMA method



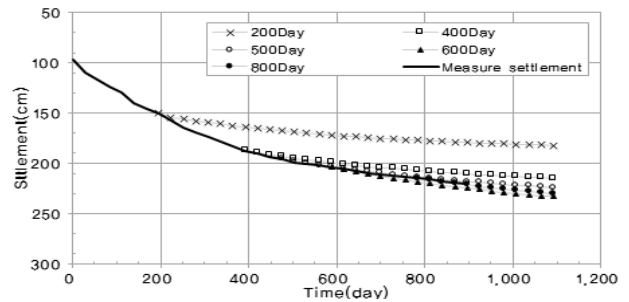
(No.2) Hyperbolic method



(No.2) Asaoka method



(No.2) Hoshino method

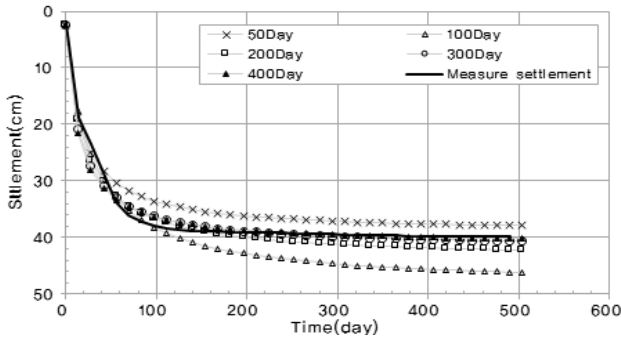


(No.2) ARIMA method

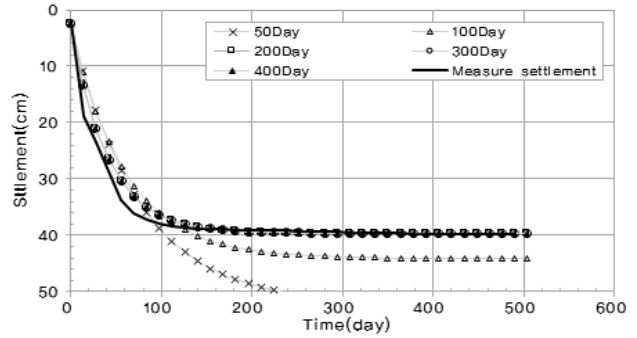
Fig. 7. Prediction graph of settlement using conventional method and ARIMA method (No.1, No.2)

Table 5. ARIMA method and conventional analysis result (No.3, No.4)

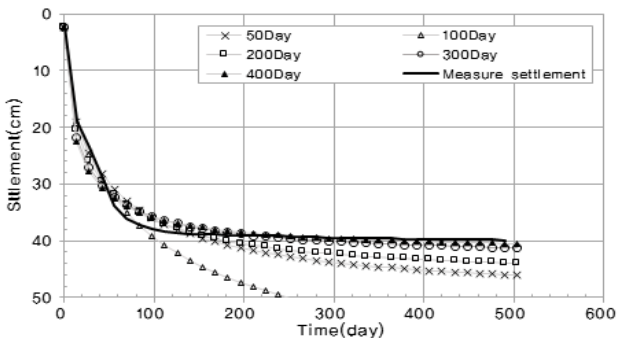
Elapsed time (Day)	No.3			No.4		
	ARIMA method		Conventional method	ARIMA method		Conventional method
	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Proximity rate (%)	Predictive final settlement (cm)	Proximity rate (%)	Proximity rate (%)
50	38.0	93		35.4	82	
100	42.3	103		41.8	97	
200	40.2	98	100, 106	44.0	102	
300	41.1	100	103	42.7	99	106
400	41.0	100		43.2	100	104,106



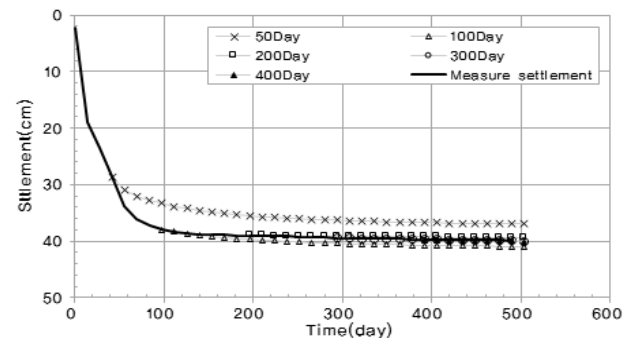
(No.3) Hyperbolic method



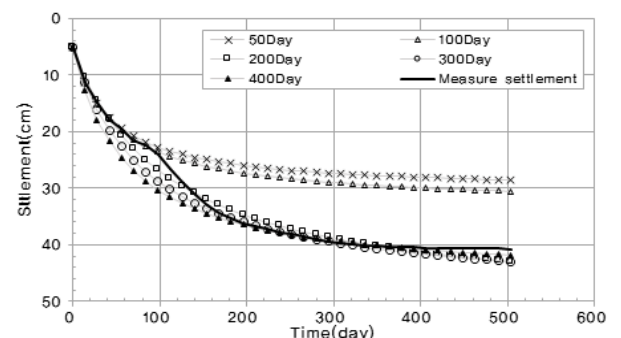
(No.3) Asaoka method



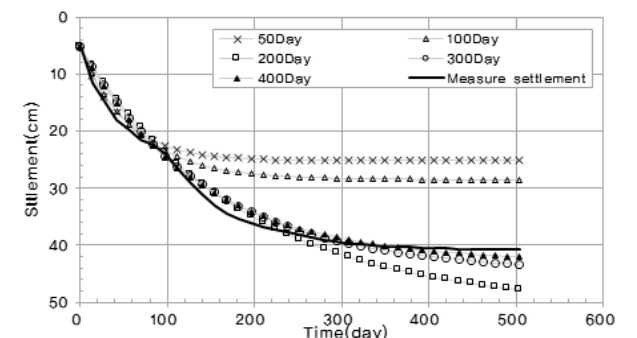
(No.3) Hoshino method



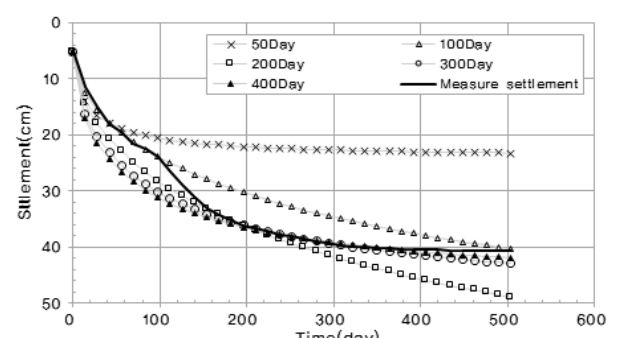
(No.3) ARIMA method



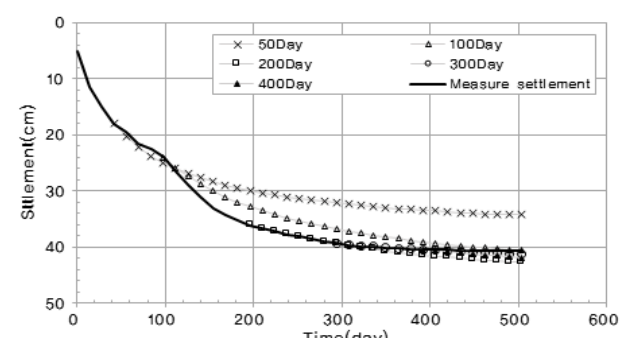
(No.4) Hyperbolic method



(No.4) Asaoka method



(No.4) Hoshino method



(No.4) ARIMA method

Fig. 8. Prediction Graph of Settlement Using conventional Method and ARIMA Method (No.3, No.4)

법은 성토 완료 후 약 200일 경과시점 이후 최종 침하량에 근접(100%~106%)한 예측 수준을 보였으나, ARIMA 기법으로 분석한 결과는 성토완료 후 약 100일 경과시점부터 예측 최종 침하량에 근접(97%, 103%)함을 알 수 있었으며, 이는 기존 예측기법 대비 빠른 시점에 최종 침하량 예측이

가능한 것으로 판단되었다.

4.3.2 결과정리

여수산업단지와 시화산업단지 침하량 분석 결과를 비교하면, 여수산업단지는 해성점성토를 흡입준설(약 2~3m)한

후 준설토를 자연 침강시켜 초연약지반에 부지를 조성하는 현상으로, 장기간에 걸쳐 침하가 발생(3년, 약 300cm)되고 시간에 따른 압밀침하 기울기가 비교적 완만하게 발생하는 것으로 파악되었다.

이에 비해, 시화산업단지에는 단위중량이 큰 양질토를 성토(약 4~5m)하여 부지를 조성하는 현상으로, 단기간에 걸쳐 침하가 발생되며 재하기간 초기(약 100일)에 전체 침하량의 90%가 발생되고, 시간에 따른 압밀 침하 곡선의 기울기가 급격하게 형성되는 것을 볼 수 있다.

기존 압밀침하 예측기법은 예측기간 약 60% 경과시점 이후 최종 침하량에 근접한 예측이 가능하였으나, 시계열 분석방법인 ARIMA 기법은 정규압밀 지반(여수산업단지) 및 과압밀 지반(시화산업단지) 모두에서 기존 압밀침하 예측기법보다 초기(약 35% 경과시점)에 최종 침하량에 근접한 결과를 분석가능하였다. 이를 통해 시간에 따른 압밀침하 기울기가 비교적 완만한 초연약지반의 경우에는 분석기간 단축에 있어 효과가 클 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 연약지반 현장 실측자료를 활용한 최종 침하량 예측방법으로 제안된 시계열 분석방법 중 ARIMA 기법의 현장 적용성을 평가하기 위하여, 점토성분이 많은(CL, CH) 남해안 여수산업단지와 실트성분이 많은(ML) 서해안 시화산업단지의 해성점토에 대한 압밀침하 예측분석을 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- (1) 점토 성분이 많은 남해안의 연약지반은 최종 침하량까지 완만하게 수렴하는 반면, 실트 성분이 많은 서해안의 연약지반은 비교적 신속히 최종 침하량에 도달하는 경향을 보이며, ARIMA 기법을 통한 최종 압밀침하 예측은 토질구성(점성토)의 구분 없이 적용 가능함을 확인하였다.
- (2) 실무에서 보편적으로 활용되는 침하관리 방법(쌍곡선법, Asaoka법, Hoshino법)과 비교한 결과, 각 각의 예측기법에 있어 최종 침하량 결과 값을 유사하게 도출하였으며, 시계열 분석기법의 장점인 학습에 의한 분석으로 기존 침하관리기법과 비교 시 초기에 신뢰성이 있는 최종 침하량을 예측할 수 있었다.

- (3) 시계열 분석방법인 ARIMA 기법은 시간의 흐름에 따라 관측된 수치를 분석하는 기법으로, 압밀침하 예측간격이 좁을수록 형태에 대한 학습이 단기간에 분석되어 압밀초기 단계에서도 최종 침하량의 신속하고 정확한 예측이 가능하며, 연약지반 처리기간에 대한 초기 검토를 통해 공용개시 시점을 조기에 산정할 수 있는 장점이 있다.

References

1. Asaoka, A. (1978), Observational procedure of settlement prediction, *Soils and Foundation*, Vol. 18, No. 4, pp. 87~101.
2. Han, M. S. (2004), Evaluation of the applicability of settlement calculation techniques in soft soil ground, Master's thesis, Inha University Graduate School of Industrial Economics, pp. 2~6 (In Korean).
3. Hoshino. (1962), 最新にめける基礎の諸問題, *土質學會誌*, Vol. 47, No. 7, pp. 63~67.
4. Kim, J. S. and Kim, J. Y. (2005), Study on the development of the measurement analysis technique for pneumatic reference, *Journal of the Korean Society of Geotechnical Engineering*, Vol. 21, No. 3, pp. 142~144 (In Korean).
5. Kim, D. S., Chae, Y. S. and Kim, Y. S. (2007), Study on the depth prediction of soft soil soil using artificial neural network, *Journal of the Korean Society of Geotechnical Engineering*, Vol. 23, No. 7 (In Korean).
6. Kim, C. M. (2008), Study on the soft ground management tool for the practicaler in the field, Master's thesis, Inha University Graduate School of Industrial Economics, pp. 4~11 (In Korean).
7. Lim, E. S. (2009), Predicting the compressive subsidence of soft ground and the methods of site subsidence management, *K-water Researcher*, pp. 5~10, 85~111, 125~147 (In Korean).
8. Lim, E. S. and Kim, J. H. (2012), Study on the application of ARIMA model to prediction of sedimentation in step-by-step, *K-water Researcher*, pp. 319~322 (In Korean).
9. Mann, Prem. S., Kim, Y. J., Kim, J. I. and Yoo, Y. H. (2009), *Introduction to Statistics*, Free Academy.
10. Sin, B. W., Jung, S. W. and Oh, S. W. (1998), Depreciation of soft ground by field measurements, *産業科學技術研究所論文*, Vol. 12, No. 1, pp. 326~329 (In Korean).
11. Tan, T. S., Lnoe, T. and Lee, S. L. (1991), Hyperbolic method for consolidation analysis, *JGE, ASCE*, Vol. 117, No. 11, pp. 1723~1737.
12. Woo, S. I., Yoon, C. Y. and Baek, S. K. (2008), Development of instrumentation-based saturation capacity prediction method for soft soil ground improvement with incremental pre-load, *Journal of the Korean Society of Geotechnical Engineering*, Vol. 24, No. 10 (In Korean).