

국내 시추조사 자료 정밀도 시계열 분석

Time-series Analysis of Precision the Domestic Boring Investigation Data

장 용 구¹⁾ · 김 영 선²⁾ · 채 덕 호²⁾ · 조 완 제[†]

Yonggu Jang · Youngsun Kim · Deokho Chae · Wanjei Cho

Received: September 25th, 2014; Revised: October 14th, 2014; Accepted: December 17th, 2014

ABSTRACT : Since the introduction of ‘the rule for computerizing subsoil investigation results and its application’ in 2007, the DB construction of the national geotechnical information by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLTA) has been performed. According to the Integrated DB Center of National Geotechnical Information, there have been 180 thousands borehole information stored in the system. In this study, the time-series analyses of precision on the most used information, the depth of stratum and ground water level, were performed to evaluate the effect of the initiation of the rule established in 2007. The precisions were evaluated based on the statistical analyses using kurtosis and normal distribution. Based on the results, the increase of precision after 2007 and the affirmative effects of the rule established in 2007 are confirmed. Furthermore, the precision of the regional information can be achieved with the precision analyses on the information from various areas.

Keywords : Boring information, Precision time-series, Precision, Normal distribution, Kurtosis

요 지 : 2007년 <지반조사 성과 전산화 및 활용에 관한 지침>에 따라 국토지반정보 통합DB센터화 사업이 추진되어 건설현장에 생성되는 지반정보와 관련된 각종 조사, 정보의 효율적인 수집 및 활용을 위하여 시추정보 유통프로세스 사업이 진행되고 있다. 국토지반정보 통합DB센터에 따르면 2014년 6월을 기준으로 약 18만공의 지반정보가 정리되어 있으며 현재에도 지반정보에 대한 데이터베이스 구축이 활발하게 진행되고 있다. 본 연구는 이러한 지반정보 유통프로세스 사업이 시추정보 정밀도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 현장에서 가장 많이 활용되고 있는 지하수위와 지층심도에 관한 시추정보를 이용하여 정밀도 시계열 분석을 실시 하였다. 정밀도 분석은 정규분포와 첨도를 통한 통계학적 방법을 이용하였다. 결과적으로 유통프로세스 사업이 시추정보 정밀도 향상에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으며 보다 많은 정보를 바탕으로 다양한 시추정보의 정밀도 검증을 수행할 경우 각 지역에 따른 시추정보 정밀도 평가도 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 시추정보, 시계열 분석, 정밀도, 정규분포, 첨도

1. 서 론

국가 지하정보인 시추정보는 터널, 지하구조물 등의 국토개발, 석탄, 석유 등의 자원개발, 지진과 같은 지질재해, 지하수, 토양에 대한 환경오염 방지, 지질공원, 지질박물관 같은 관광·레저 그리고 지반에 대한 지질학적, 화학적, 물리학적 교육연구 등에 지대한 기여를 하고 있다. 건설 분야에서는 이미 한국건설기술연구원이 2003년 지반정보 전문기술지원기관으로 지정되어 지반정보 구축 사업관리 및 DB 관리 그리고 인터넷 서비스를 시행 중에 있다. 21세기에 들어 급속히 진행된 정보화 시대에 발맞추어 지하정보의 수집과 유통은 순수과학에서 공학적 활용으로 변모하고 있으며 우리나라의 경우, 정책의 입안 및 의사결정 등에 필요한 각종 GIS를 필요로 하는 관계기관에서 개별적으로 추진함에

따른 예산 중복투자 등의 부작용을 최소화하기 위하여 국가 주도하에 지리정보체계를 효율적으로 구축하기 위하여 1990년대 초부터 정보화의 필요성이 제기되었다. 이에 따라 NGIS (National Geographic Information System) 1단계 사업을 통해 국토기본지질도가 전산화되었고, 2단계에 들어와 지하 지리정보부문에서 지질 정보화 사업이 추진되면서 방대한 지질정보의 체계적인 관리와 정보화를 이루려고 하고 있다 (Jang et al., 2014).

최근 국내 지하공간정보 통합 인프라 구축을 위한 표준화 방안 및 활용성에 관한 연구가 수행되어 지층별 표준화, 단위체계 표준화, 지하공간정보 연계 표준화를 제시한 바 있다 (Seok et al., 2012). 또한 국토지반정보와 지질정보의 통합·활용을 통한 국토지하정보의 표준화 및 구축 방법 제시와 지식기반커뮤니티 구축에 관한 연구도 진행된 바 있다

1) Korea Institute of Construction Technology

2) Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University

† Department of Civil & Environmental Engineering, Dankook University (Corresponding Author : jei0421@dankook.ac.kr)

(Song et al., 2011). 현재 한국건설기술연구원의 경우 지반정보 DB 구축과 함께 2007년부터 “지반조사 성과 전산화 및 활용에 관한 지침”이 제정되어 국토지반정보 유통체계가 운영되고 있으며, 국토지반정보 통합DB센터에 따르면 2014년 6월 기준 약 18만공에 대한 시추정보 DB가 구축되어 지반정보를 보급 및 활용할 수 있도록 하고 있다.

이러한 정보의 축적과 효과적인 유통에 관한 시스템적인 연구와 더불어 현재 축적된 지하정보들의 유효성을 다시 말하면, 정밀도를 평가하는 과정이 Jang et al.(2014)에 의해 수행되었다. 본 연구에서는 정밀도를 시계열로 분석함으로써 2007년 실시된 유통프로세스 사업의 효과를 살펴보았다. 여기서 유통프로세스란 국토부에서 발제한 지반 조사 성과 전산화 및 활용에 관한 지침에 의하여 시작된 것으로 공공기관에서 발주한 공사의 지반조사 성과를 전산화하여 축적되기 시작한 시기를 의미한다.

본 연구에서는 현재 한국건설기술연구원에서 운영하고 있는 국토지반정보 유통시스템 내의 저장된 시추정보를 추출하여 지층 관련 정보 및 지하수위 정보의 정밀도를 시계열로 분석하여 유통되는 자료의 정밀도를 평가하고 유통프로세스 도입이 시추정보 정밀도에 미치는 영향을 살펴보았다.

2. 정밀도 검증 시범지역 및 항목 선정

2.1 정밀도 검증 시범지역 선정

시추정보의 정밀도 시계열 분석을 위하여 국토지반정보 DB 포털시스템(국토지반정보 통합DB센터, 2013)에 구축된 데이터를 이용하였다. 검증 대상 지역은 시추정보 3차원 가시화 사업이 진행되고 있는 서울, 인천, 부산 지역으로 하였으며, 각 지역별로 사업 시기가 다른 5개의 사업을 선정하였다. 선정된 사업의 수행 시기는 1992년부터 2011년으로 시계열 분석을 통하여 사업 시기에 따른 정밀도 변화 추이를 파악할 수 있을 것으로 판단되며 유통프로세스 사업 수행 시기인 2007년을 기준으로 정밀도를 평가하여 유통프로세스 사업이 시추정보의 정밀도에 미치는 영향을 살펴볼 수 있을 것으로 보인다. 또한 검증 대상을 선정함에 있어서 단위 면적당 시추공 수를 $0.0009\text{공}/\text{km}^2$ 에서 $0.003\text{공}/\text{km}^2$ 이내로 제한하여 정밀도 시계열 분석의 정확성과 객관성을 높이고자 하였다. Fig. 1은 각 지역별 시계열 분석 검증 대상 지역을 보여주고 있으며, Table 1은 각 지역별 시추공 수와 사업 시기 그리고 사업 면적당 시추공 수를 보여주며 Fig. 1에서 숫자는 사업 연도를 나타낸다.

2.2 정밀도 검증 항목

정밀도 시계열 검증 항목을 선정하기 위하여 국토지반정보 통합DB센터에서 2012년부터 수집된 시추정보 활용 사례집을 분석하였다. 그중 건설 분야 활용 사례 70건을 분석한 결과 지하수위 및 지층의 심도 분류를 포함하는 지층정보가 70건에 대하여 모두 활용되는 것을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 시계열 분석을 수행할 시추정보의 항목으로 현장에서 활용성이 높은 지하수위 및 지층심도 정보를 정밀도 검증 항목으로 선정하였다. 여기서 지층심도는 연구 대상으로 선정된 전 사업에서 모래 지층이 분포하고 있어 다른 지층간의 분류보다는 분명할 수 있는 모래 지층의 종결 심도를 검증 항목으로 선정하였다.

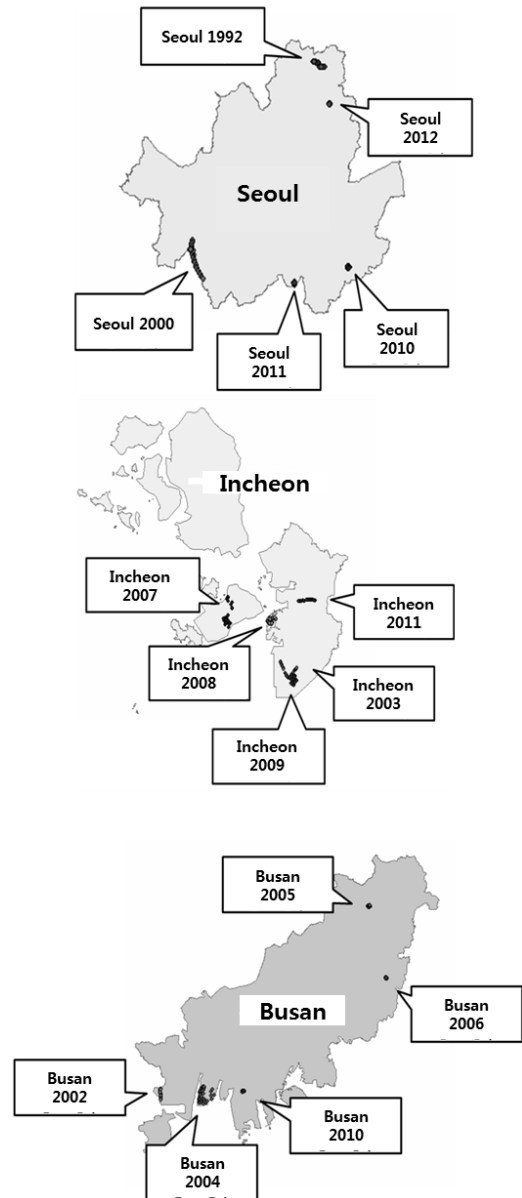


Fig. 1. Borehole locations in the selected sites

Table 1. Number of borehole and number of borehole per unit area of the selected area

Region	Business year	The number of borehole	The number of borehole per unit area (number/km ²)
Seoul	2012	15	0.0005
	2011	31	0.0006
	2010	38	0.0007
	2000	29	0.004
	1992	69	0.003
Incheon	2011	16	0.0006
	2009	30	0.0005
	2008	168	0.0007
	2007	32	0.0005
	2003	30	0.0003
Busan	2010	47	0.0008
	2006	51	0.0008
	2005	91	0.0007
	2004	71	0.003
	2002	72	0.0009

3. 정밀도 분석 방법

본 연구에서는 선정된 정밀도 시계열 검증지역의 지하수 위 및 지층 심도를 통계학적 추론 방법을 이용하여 검증하고자 하였다. 여기서 통계학적 추론이란 표본이 갖고 있는 모집단의 모수에 관한 정보를 분석함으로써 그 모수에 관한 결론을 유도하거나 모수에 관한 결론의 진위여부를 검증하는 것으로 모집단으로부터 표본을 수집하고 여기서 얻은 정보를 분석하여 모집단의 특성을 알아내는 것을 뜻한다. 그러나 실제 문제에서는 모 표준편차인 σ 의 값을 알 수 없는 경우가 대부분이므로 이러한 경우 모 표준편차 σ 를 대신하여 표본표준편차 s 를 이용할 수 있다. 따라서 서울, 인천, 부산 지역의 시추공을 모집단, 각 지역별 시추공을 표본으로 하여 시추공 정밀도를 분석하였다.

3.1 정규분포

통계학에서 가장 중요한 확률분포 중 하나가 정규분포(Normal distribution)이다. 정규분포는 평균에서 가장 높은 발생 확률을 가지며 평균에서 멀어질수록 그 발생 확률이 급속히 감소하다 다시 점진적으로 감소하는 종(Bell) 모양의 확률 분포를 가진다. 이러한 정규분포는 사회적, 자연적 현상에서 접하게 되는 대부분의 자료 분포형태가 정규분포와 비슷한 경우가 대부분이므로 정규분포는 매우 중요한 연속확률분포라 할 수 있다. 연속확률변수 X 중에서 확률밀도 함수가 다음 식과 같을 때 X 의 확률분포를 정규분포라 하고, 함수 $f(x)$ 의 그래프를 정규분포곡선이라고 한다.

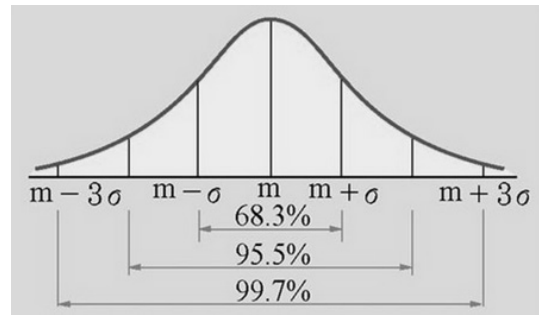


Fig. 2. Normal distribution with confidence level

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (-\infty < x < \infty)$$

여기서 m 와 σ^2 는 각각 평균과 분포의 분산을 나타내는 상수이며, e 는 2.7183인 무리수이다.

정규분포는 2개의 매개 변수 m 과 σ 의 값에 따라 그 모양이 결정된다. 정규분포는 표준편차가 커질수록 첨도는 작아져 완만한 형태를 보이며, 표준편차가 작아질수록 첨도는 커져 첨예한 형태를 보인다. 여기서 첨도는 정규분포상에서 평균에 모여 있는 변량들의 빈도를 나타내는 통계값이며 첨도가 커질수록 자료의 정밀도가 높아짐을 의미한다.

Fig. 2는 정규분포 곡선을 보여주고 있으며 평균값 m 에서 표준편차 σ 간격마다 해당되는 확률 분포의 값이 표시되어 있다.

3.2 첨도

첨도(Kurtosis)는 곡선의 평탄함을 나타내는 척도로 값이 커질수록 첨예해지며 값이 작아질수록 완만한 곡선 형태를 나타낸다. 다음은 첨도를 계산하는 공식이다.

$$\left(\frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - a}{\sigma} \right)^4 \right) - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

여기서 n : 데이터 수, a : 평균, σ : 표준편차이다.

3.3 데이터의 정규성 검증

시추정보 데이터의 정밀도 시계열 분석을 위하여 정규분포의 적용이 타당한지 가장 우선적으로 살펴보았다. 수집된 데이터들이 정규분포를 따르는지 확인하는 방법은 다양하나 그중 일반적인 데이터의 정규성 검정으로는 히스토그램 모양에 따른 검증과 Q-Q 도표의 기울기를 이용하는 방법 등이 있다(Choi, 2000).

히스토그램은 데이터 분포의 특징이 한눈에 보이도록 계

급구간을 x축으로 하고 도수를 y축으로 하여 그린 그래프를 말하는데 주어진 데이터가 정규성을 가질 경우 히스토그램은 형태가 종 모양을 가지며 중앙값 근처의 케이스가 상대적으로 많고 이상점이 거의 없게 나타난다. 또한 Q-Q 도표

는 정규분포의 분위수를 x축으로 실제 자료의 분위수를 y축으로 하는 도표로 자료가 정규성을 가지는 경우 산점도의 형태가 선형으로 나타나 기울기가 1인 직선 형태를 보이게 된다. Fig. 3과 Fig. 4는 각 지역별 지하수위 정보 데이터를

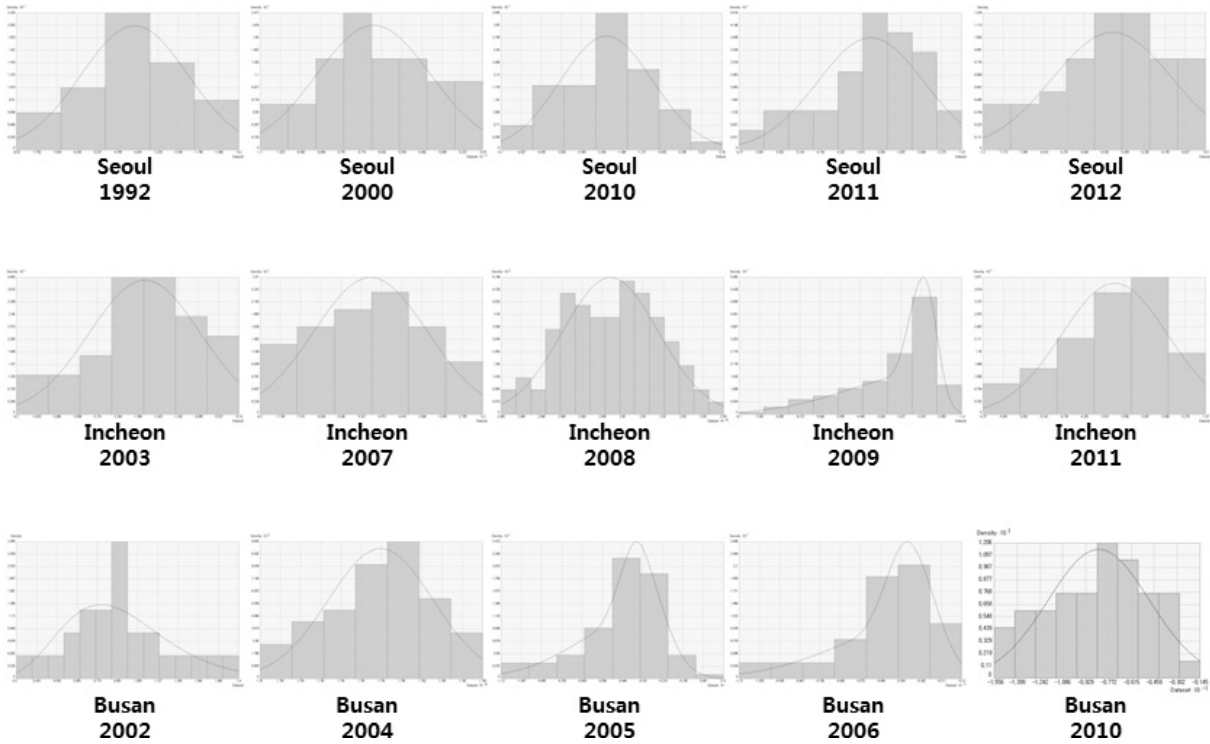


Fig. 3. Histogram of the data for research

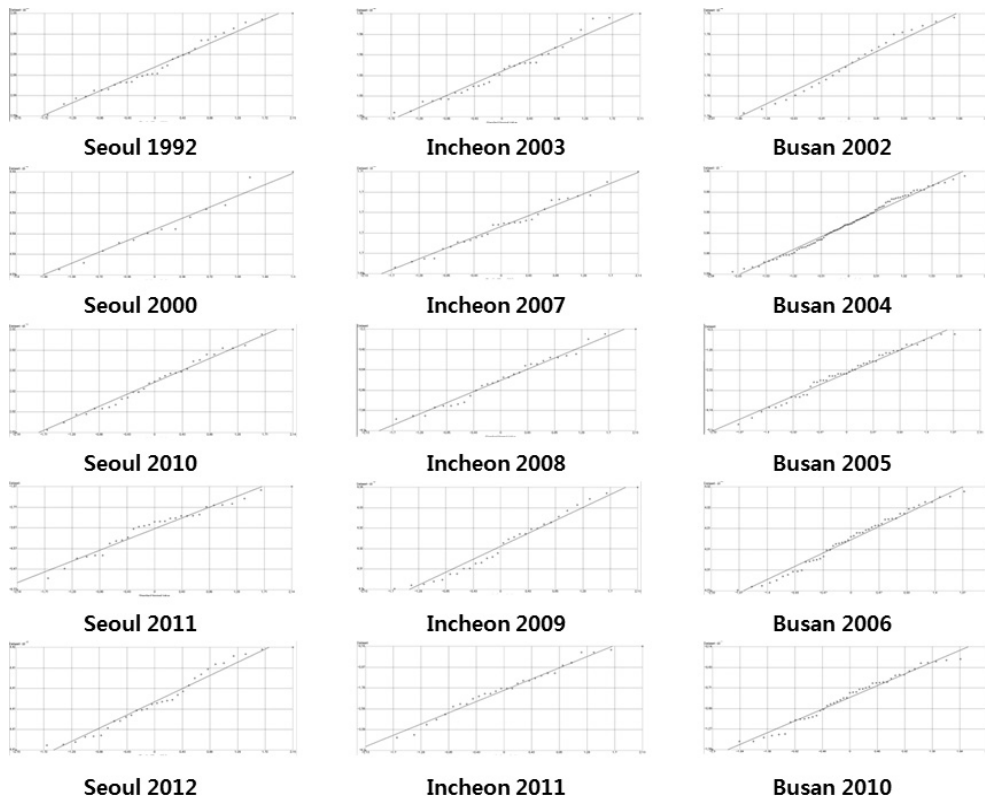


Fig. 4. Q-Q plot of the data for research

통한 히스토그램과 Q-Q 도표를 보여준다.

Fig. 3의 히스토그램을 살펴보면 완벽한 종 모양은 아니나 전체적인 형태는 종 모양으로 분류해도 크게 무리가 없다는 것을 알 수 있으며 Fig. 4의 Q-Q 도표 또한 산점도의 형태가 기울기가 1인 직선 형태와 가깝다는 것을 살펴볼 수 있다. 지층심도 데이터를 이용한 결과도 이와 비슷한 양상을 나타냈다. 이를 통하여 연구에 사용된 시추정보들은 정규성을 가진다고 할 수 있으며, 정규분포를 통한 정밀도 검증이 타당함을 알 수 있다.

4. 정밀도 평가 결과

정밀도는 관측의 균질성을 나타내며, 관측된 값들의 편차가 작을수록 그 자료는 정밀하다 말할 수 있다. 즉 정밀도가 높을수록 분산이 작아져 표준편차가 작아지며, 정밀도가 낮아질수록 분산이 커져 표준편차가 커지게 된다.

따라서 정규분포곡선의 모양은 낮은 정밀도를 가진 측정인 경우 표준편차가 커져 정규분포곡선의 모양이 평균값을 중심으로 비교적 넓게 분포하여 완만한 모습을 보이며, 이와 반대로 높은 정밀도를 가지는 경우 표준편차가 작아 곡선의 모양이 첨예한 형태를 보이게 된다.

4.1 지하수위 정밀도 검증 결과

검증지역에 대한 지하수위 정보를 이용하여 각 지역 사업 시기에 따른 지하수위의 정규분포곡선과 침도값을 산정하였다. 이를 위해 지하수위 정보에 대한 평균과 표준편차를 산정하였으며 그 결과는 Table 2에 정리하였다. 표에서

Table 2. Statistics of ground water level

Region	Business year	Average (m)	Standard deviation	Coefficient of variation
Seoul	2012	-6.45	1.71	0.27
	2011	-3.71	1.09	0.29
	2010	-2.03	0.82	0.40
	2000	-5.38	2.93	0.54
	1992	-4.59	3.22	0.70
Incheon	2011	-3.7	1.45	0.39
	2009	-5.28	1.81	0.34
	2008	-3.44	1.33	0.39
	2007	-19.22	3.19	0.17
	2003	-1.87	3.22	0.55
Busan	2010	-7.40	1.19	0.16
	2006	-2.11	1.28	0.61
	2005	-3.74	1.64	0.44
	2004	-1.89	1.60	0.84
	2002	-3.23	4.73	0.36

변동계수는 표준편차를 평균으로 나눈 값으로 예측된 데이터값의 절대 크기에 다른 표준편차의 왜곡을 막기 위한 통계학적 수치로 변동계수가 작을수록 데이터값의 변화가 작다는 것을 의미한다.

Table 2를 살펴보면 유통프로세스 도입 시기인 2007년 이후 평균 표준편차는 2.66에서 1.57로 작아진 것을 확인할 수 있었으며 평균 변동계수 또한 0.58에서 0.30으로 감소한 것을 알 수 있다. 이는 2007년을 기준으로 지하수위 정보의 정밀도가 향상된 것을 의미한다.

Fig. 5~Fig. 7에 지하수위의 통계자료를 정규분포로 나타내어 시각적으로 정밀도를 살펴보았다.

Fig. 5~Fig. 7의 정규분포곡선을 유통프로세스 도입 시

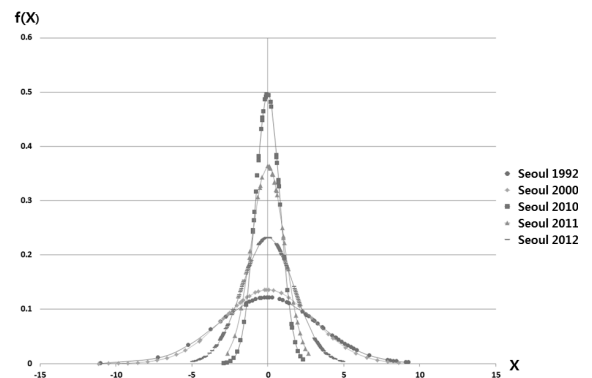


Fig. 5. Normal distribution of the ground water level (Seoul)

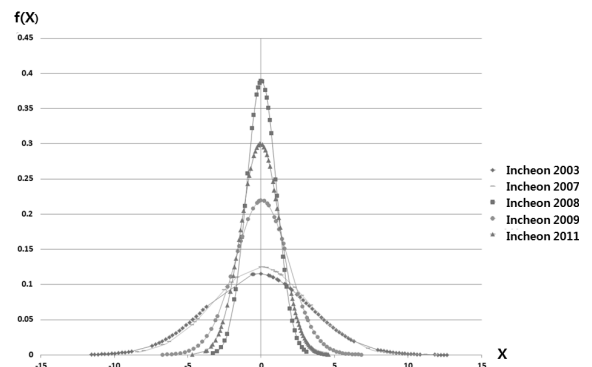


Fig. 6. Normal distribution of the ground water level (Incheon)

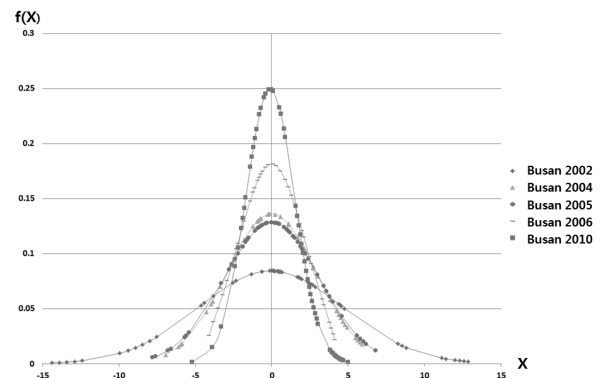


Fig. 7. Normal distribution of the ground water level (Busan)

기인 2007년을 기준으로 살펴보면 2007년 이후 모든 지역 사업의 침도가 커지는 것을 볼 수 있다. 앞서 표준편차와 변동계수가 감소 한 것을 정규분포를 통하여 시각적으로 살펴 볼 수 있다. Table 3은 침도 계산식을 이용한 침도 수치의 결과를 표로 정리한 것이다. Table 2를 유통프로세스 도입 시기 이전과 이후로 살펴보면 유통프로세스 도입 이전 침도 평균이 -0.83에서 유통프로세스 도입 후 0.42로 증가 하는 것을 볼 수 있다.

4.2 지층심도 정밀도 검증 결과

지층심도는 모든 사업에 존재하는 모래지층의 종결 심도를 기준으로 하였으며 정밀도 검증 방법은 지하수위 정보의 검증 방법과 같다. Table 4는 지층심도 정보에 대한 평균과 표준편차를 산정한 결과를 보여준다.

Table 4를 살펴보면 유통프로세스 도입 시기인 2007년을 기준으로 유통프로세스 도입 이후 표준편차의 평균이 2.07이었으며 이는 유통프로세스 도입 이전인 3.27보다 작은 수치로 유통프로세스 사업 이후 정밀도가 상승한 것을 확인할 수 있다. Fig. 8~Fig. 10은 지층심도 통계자료를 이용하여 도시한 정규분포곡선이다.

Fig. 8~Fig. 10의 정규분포곡선을 통하여 유통프로세스 도입 시기인 2007년을 기준으로 살펴보면 지하수위 정보와 마찬가지로 2007년 이후 모든 지역 사업의 침도가 커지는 것을 볼 수 있다.

Table 5는 침도 계산식을 통하여 지층심도의 침도를 계산한 것이다. 이를 유통프로세스 도입 시기 이전과 이후로 살펴보면 유통프로세스 도입 이전 침도 평균이 -0.98에서 유통프로세스 도입 후 -0.29로 증가 하는 것을 볼 수 있다.

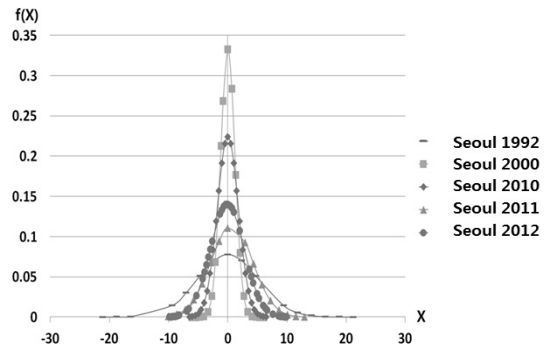


Fig. 8. Normal distribution of depth (Seoul)

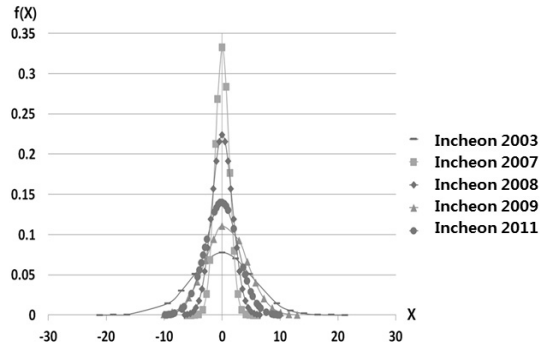


Fig. 9. Normal distribution of depth (Incheon)

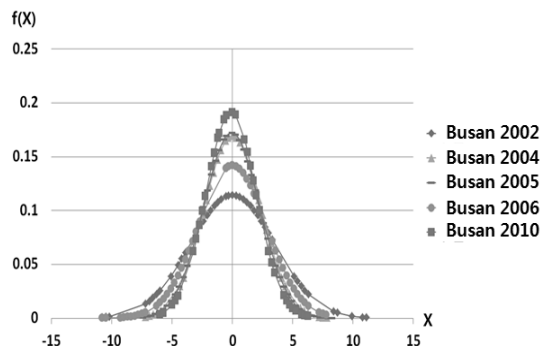


Fig. 10. Normal distribution of depth (Busan)

Table 3. Kurtosis of ground water level

Region	Business year	Kurtosis
Seoul	2012	-0.08
	2011	1.08
	2010	1.55
	2000	-0.87
	1992	-0.94
Incheon	2011	-0.09
	2009	-0.49
	2008	0.87
	2007	-0.88
	2003	-0.91
Busan	2010	1.41
	2006	-0.16
	2005	-0.85
	2004	-0.99
	2002	-1.09

Table 4. Statistics of depth of each stratum

Region	Business year	Average (m)	Standard deviation	Coefficient of variation
Seoul	2012	2.99	1.10	0.37
	2011	5.21	2.01	0.39
	2010	4.62	1.97	0.42
	2000	3.86	2.58	0.66
	1992	7.23	4.21	0.46
Incheon	2011	7.87	2.84	0.36
	2009	7.39	3.54	0.47
	2008	4.52	1.78	0.39
	2007	3.49	1.20	0.34
	2003	11.92	5.13	0.43
Busan	2010	7.92	2.08	0.26
	2006	4.23	2.81	0.66
	2005	12.33	2.31	0.19
	2004	4.16	2.35	0.56
	2002	7.98	3.48	0.44

Table 5. Kurtosis of depth of each stratum

Region	Business year	Kurtosis
Seoul	2012	0.21
	2011	-0.28
	2010	-0.52
	2000	-0.84
	1992	-1.17
Incheon	2011	-0.20
	2009	-0.98
	2008	-0.15
	2007	0.13
	2003	-1.20
Busan	2010	-0.49
	2006	-0.98
	2005	-0.77
	2004	-0.81
	2002	-1.10

5. 결론 및 향후 연구방안

본 연구에서는 2007년 실행된 시추정보 유통프로세스 사업이 시추정보 정밀도에 미치는 영향을 검증을 위하여 현재 수립되어 유통되고 있는 시추정보에 대한 정밀도를 사업 시기에 따라 평가하였으며 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 유통프로세스 도입 후 지하수위 및 종결심도 데이터의 표준편차와 변동계수가 작아지는 것을 확인하였다. 이는 유통프로세스 도입이 시추정보의 정밀도를 높이는 데 기여하고 있다는 것을 의미한다.
- (2) 지하수위 및 종결심도에 대한 침도를 수치로 표현하여 나타낸 결과 유통프로세스 도입 후 침도 값이 커지는

것을 알 수 있었다.

결론을 토대로 2007년 시작된 유통프로세스 사업은 시추 정보 정밀도 향상에 기여하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 현재 구축된 약 18만공의 시추공을 대표하기에 연구에 사용된 시추 정보 데이터는 약 790여 개로 데이터 크기가 작아 지속적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 지진 및 지진 해일 피해저감기술 개발사업의 연구비 지원(NEMA-지진-2012-1)에 의해 수행되었습니다.

References

1. 국토지반정보 통합DB센터 (2013), <http://www.geoinfo.or.kr>.
2. Choi, M. H. (2000), A study on the design and application of histogram in the CAQC, Journal of the Ulsan College, Vol. 27, No. 2, pp. 211~221 (in Korean).
3. Jang, Y. G., Jeon, H. S., Chae, D. H. and Cho, W. J. (2014), Evaluation of precision of the domestic geotechnical information data, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 15, No. 4, pp. 53~56 (in Korean).
4. Seok, C. H., Kang, Y. R., Jang, Y. G. and Kang, I. J. (2012), A study of standardization for establishing integrated infrastructure of underground space information and its availability, Journal of The Korean Society for Geo-Spatial Information System, Vol. 21, No. 4, pp. 105~115 (in Korean).
5. Song, S. J., Jang, Y. G. and Kang, I. J. (2011), The establishment plan of knowledge-based community through the 3-D national underground information DB design and utilization review, Journal of The Korean Society for Geo-Spatial Information System, Vol. 19, No. 1, pp. 63~70 (in Korean).