

웨이블릿 기반 셴블런스를 이용한 지구물리 자료의 필터링과 응용

오석훈^{1,*} · 서백수¹ · 임은상²

¹강원대학교 지구시스템공학과, 200-701, 강원도 춘천시 효자동 192-1

²한국수자원공사 수자원연구원, 305-730, 대전광역시 유성구 전민동 462-1

Wavelet-based Semblance Filtering of Geophysical Data and Its Application

Seokhoon Oh^{1,*}, Baeksoo Suh¹, and Eunsang Im²

¹Department of Geosystem Engineering, Kangwon National University, Kangwon 200-701, Korea

²Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea

Abstract: Wavelet transform has been widely used in terms that it may overcome the shortcoming of conventional Fourier transform. Fourier transform has its difficulty to explain how the transformed domain, frequency, is related with time. Traditional semblance technique in Fourier transform was devised to compare two time series on the basis of their phase as a function of frequency. But this method is known not to work well for the non-stationary signal. In this study, we present two applications of the wavelet-based semblance method to geophysical data. Firstly, we show filtered geomagnetic signal remained with components of high correlation to each observatory. Secondly, highly correlated residual signal of gravity and magnetic survey data, which are also filtered by this semblance method, is present.

Keywords: wavelet transform, semblance, geomagnetic, gravity, magnetic

요약: 웨이블릿 변환은 기존 푸리에 변환이 갖는 주파수 변환 결과의 시간 영역에 대한 모호성을 극복할 수 있는 변환 기법으로 널리 이용되어 왔다. 기존의 푸리에 변환에 의한 셴블런스는 두 개의 시계열 자료의 위상을 주파수 영역에서 비교할 수 있도록 하는 방법이다. 이 방법은 비정상상태의 신호에 대해서는 잘 작동하지 않는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 자연계의 신호가 대부분 비정상상태임을 고려하여 웨이블릿 기반으로 개발된 셴블런스 기법을 지구물리자료에 적용하였다. 첫 번째 사례는 지구자기장 자료처리로서, 원격으로 위치한 관측소의 자료끼리 서로 비교하여 상관성이 높은 신호만 남도록 필터링한 결과를 제시한다. 두 번째 사례는 중력과 자력탐사를 복합적으로 분석할 수 있는 방안으로서, 두 자료간 공간적 상관성이 높은 신호만을 추출하는 필터링 결과를 제시한다.

주요어: 웨이블릿 변환, 셴블런스, 지구자기장, 중력, 자력

서론

시계열이나 탄성과 트레이스 자료를 처리하는 과정에서 서로 다른 신호의 상관성을 분석하기 위한 방법은 다양하게 존재한다(Carr, 1994). 셴블런스 기법은 두 시계열 자료에 나타난 위상성분의 동질성을 파악하는데 널리 이용되는 방법이다(von Frese et al., 1997). 셴블런스는 일반적으로 푸리에 변환된 주파수 영역에서 처리되는데, 두 자료의 위상차에 대한 코사

인 값으로 주어지며, 상관도에 따라 -1에서 1사이의 값을 갖는다.

이러한 셴블런스 기법은 상관성을 갖는 자료의 도출이나 필터링에 응용될 수 있는데, 푸리에 변환에 기반한 셴블런스 처리는 단기적 변동성을 갖는 비정상 신호(non-stationary signal)에 대해서는 좋은 결과를 보여주지 못하는 것으로 나타났다(Cooper, 2009). 이를 보완하기 위해 시간 영역에서도 주파수 특성을 파악할 수 있는 장점을 갖는 웨이블릿 변환 기반의 셴블런스 기법이 등장하였다. 본 연구에서는 웨이블릿 변환에 기반한 셴블런스 기법을 이용하여 동일 시간에 서로 다른 지자기 관측소에서 측정된 신호를 상호 비교하고, 상관성이 있는 성분만 추출하여 잡음

*Corresponding author: gimul@kangwon.ac.kr

Tel: 82-33-250-6258

Fax: 82-33-252-5550

을 제거하는 필터링 방법을 수행하였다. 또한 해양탐사로부터 획득한 중력 및 자력 자료를 샘플런스 필터링에 기반하여 해석하였다.

웨이블릿 기반 샘플런스

처리하고자 하는 신호가 시간에 따라 주파수 성분이 변하지 않는 정상상태(stationary) 라면 푸리에 변환을 통해 주파수 영역을 분석하는 경우 문제가 발생하지 않는다. 그러나 자연계에 존재하는 신호들은 대부분 짧은 시간영역에서 신호 상태의 변화가 발생하여 주파수가 시간에 따라 변하는 비정상상태(non-stationary)를 보이는 경우가 많다. 이는 푸리에 변환이 무한히 지속되는 삼각함수를 기저함수로 이용하기 때문인데, 웨이브렛 변환에서는 유한한 웨이브렛을 기저함수로 이용하여 기존의 푸리에 변환이 갖고 있던 여러 문제점을 극복하였다. 이에 대한 자세한 논의는 웨이브렛에 대한 다양한 이론서를 참고할 수 있다(Strang and Nguyen, 1996).

Cooper and Cowan(2008) 에 의하면 웨이블릿 영역에서 샘플런스 함수는,

$$S = \cos(\theta) \quad (1)$$

로 주어지는데, 여기서 위상 θ 는

$$\theta = \tan^{-1}(\text{IM}(\text{CWT}_{1,2})/\text{R}(\text{CWT}_{1,2})) \quad (2)$$

로 주어지며,

$$\text{CWT}_{1,2} = \text{CWT}_1 \cdot \text{CWT}_2^* \quad (3)$$

이다. CWT_1 과 CWT_2 는 각 신호의 연속 웨이블릿 변환을 의미하며, *는 켈레복소수임을 나타낸다.

위의 식에서 볼 수 있는 바와 같이, 웨이블릿 기반 샘플런스 분석을 위해서는 연속 웨이블릿 변환 결과를 이용해야 하지만, 이는 원래 신호값을 복원할 수 있는 역변환을 제공하지 않기 때문에 이산 웨이블릿 변환(DWT: Discrete Wavelet Transform)을 적용하는 방법(Cooper, 2009)을 이용하였다.

샘플런스에 의한 필터링 과정은, 입력된 신호를 두 가지로 구분하는 것으로 시작된다. 즉, 샘플런스를 통해 위상의 상관성이 문턱값(threshold) 이상이 되면, 그 성분은 상관성이 있는 것으로 판단되어 승낙되고(accept), 그렇지 않은 성분은 거절되어(reject) 따로 분류가 된다. 이렇게 분류된 각 성분은 다시 역 웨이

블릿 변환 과정을 통해 시계열 함수로 복원이 된다.

지자기 자료의 상호 상관 필터링

지구자기장 자료는 우주 환경의 상태를 파악할 수 있는 우주 기상의 영역에서부터, 지구 내부의 심부 전기적 구조를 파악할 수 있는 순수 지구물리학적 영역에 이르기까지 다양한 분야에 활용되고 있다. 우리나라도 최근 기상청에서 지진전조 관측을 목적으로 지자기장 관측소를 설립하면서, 기존의 전파연구소(2곳), 한국지질자원연구원(3곳), 천문연구원(1곳)에서 수행하던 지자기장 관측에 동참하게 되었다. 이로써 현재 우리나라 지자기 고정 관측소는 총 7곳이 되었다.

지자기장 자료는 지진 전조현상을 분석하기 위한 기초 자료로도 많이 이용되는데, 특히 최근에는 지자기 전달함수의 분석을 통한 지하 전기전도도 구조의 변화를 감지하기 위한 노력이 많은 성과를 보고 있다(Harada et al., 2004; 양준모 외, 2004). 이 방법의 적용을 위해서는 저주파 뿐만 아니라, 100초 이하 단주기의 지자기장 자료도 좋은 신뢰도를 가져야 하는데 일반적으로 이에 대한 신뢰성을 확보할 수 없어 자료 해석에 어려움을 겪는다.

일반적으로 고주파수의 잡음은 상관성이 없는 경우가 많아서 두 개 이상의 신호로부터 상관 정도를 이용하면 자동적으로 고주파의 잡음 차단 필터 효과를 볼 수 있게 된다. 또한 지자기 관측소의 자료는 다양한 배경 잡음을 가지고 있는데, 웨이블릿 변환은 국지적으로 나타나는 신호의 성질을 주파수 상에서 잘 분리할 수 있는 장점이 있으므로 이에 대해 보다 정확한 특성을 파악할 것으로 보인다.

Fig. 1은 전파연구소(RRL) 이천분소와 기상청 청양 지자기 관측소에서 획득한 동일 시간대의 지자기 자료에 대해 샘플런스 필터링을 수행한 결과이다. (a)에서 볼 수 있는 바와 같이, 이천 관측소의 지자기 관측 자료는 고주파수 성분의 잡음이 다소 높은 것으로 보이지만, 이것이 잡음인지 고주파의 신호인지 파악하기 쉽지 않다. 이 자료에 대해 기상청의 지자기 자료와 필터링을 수행한 결과, 두 자료의 고주파 성분은 상관성이 낮은 것으로 판단되어 모두 거절되고((e), (f)), 승낙 된 신호는 비교적 저주파의 성분만 남게 되었다. 여기서 거절과 승낙에 대한 판별은 샘플런스의 상관도를 이용해서 결정하였으며, Fig. 1은 상관도 0.9를 기준으로 하였다. 참고로 앞에서도 언

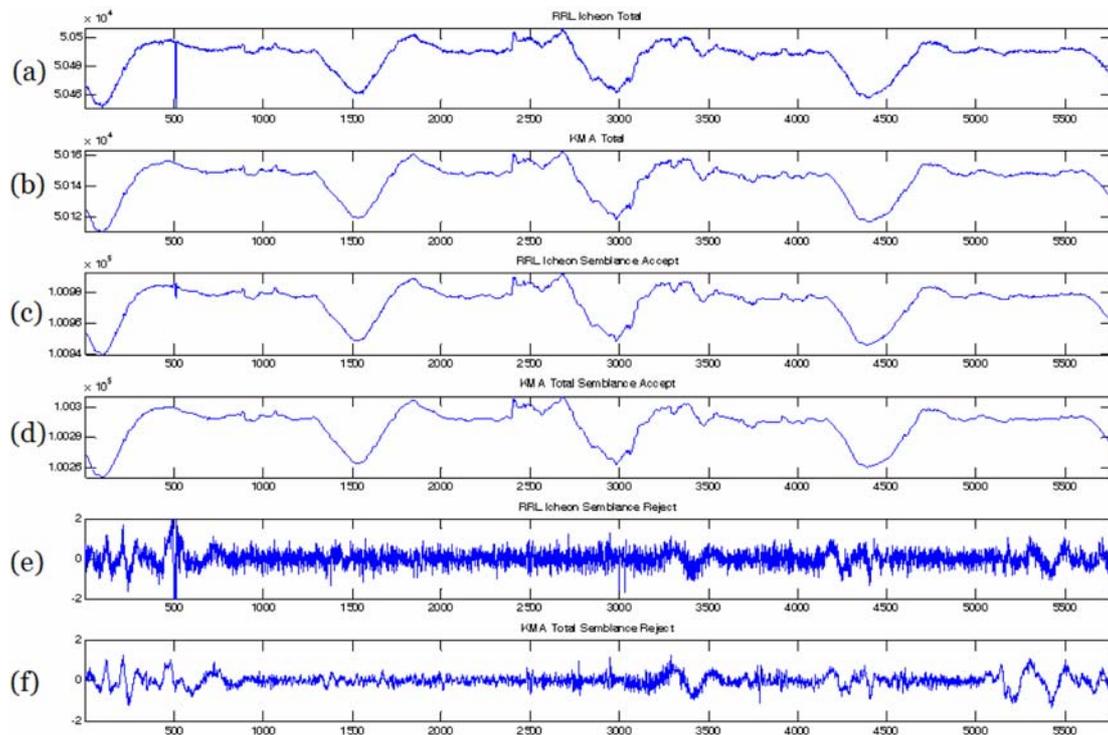


Fig. 1. Wavelet-based semblance filtering of geomagnetic data. (a) Geomagnetic dataset observed at Icheon, Kyeong-gi province, by RRL and (b) Geomagnetic dataset observed at Cheong-yang, Chung-buk province, by KMA. Filtered signal for Icheon (c) and Cheong-yang (d) sites by accepting the components which meet some criteria based on their phase correlation, and rejected part of (e) Icheon and (f) Cheong-yang which does not meet the criteria. Sampling rate is one minute. Axis of x indicates the time as minute and the unit of y axis is nT.

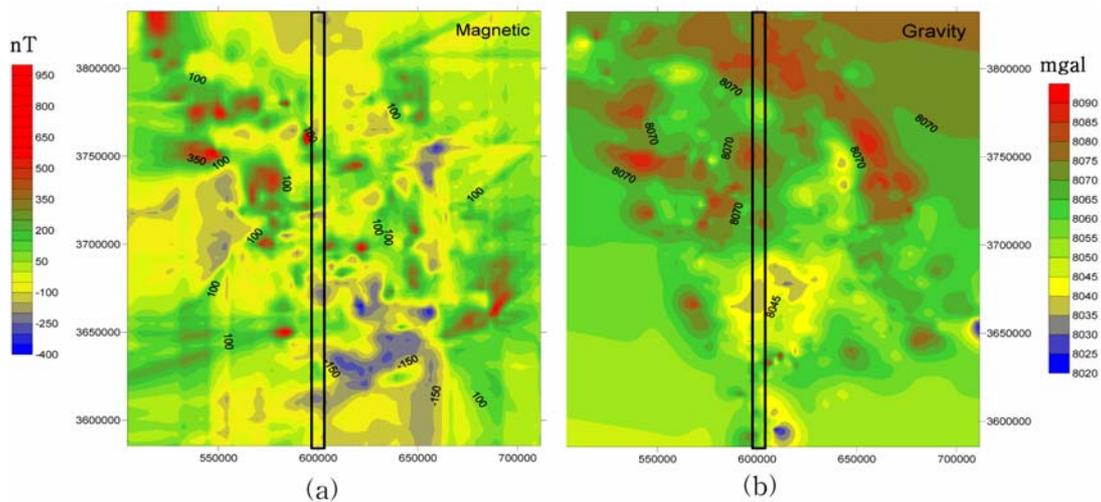


Fig. 2. (a) Magnetic and (b) gravity map showing the location of profile with black line. The unit of scale bar is nT for (a) and mgal for (b), and the coordinate is UTM.

급한 바와 같이 semblance 상관도는 -1에서 1의 범위를 가지게 된다.

이 방법은 위와 같이 잡음이 적은 관측소와 상호 필터링하여 자료의 질을 향상시키는 방법 외에도, 지

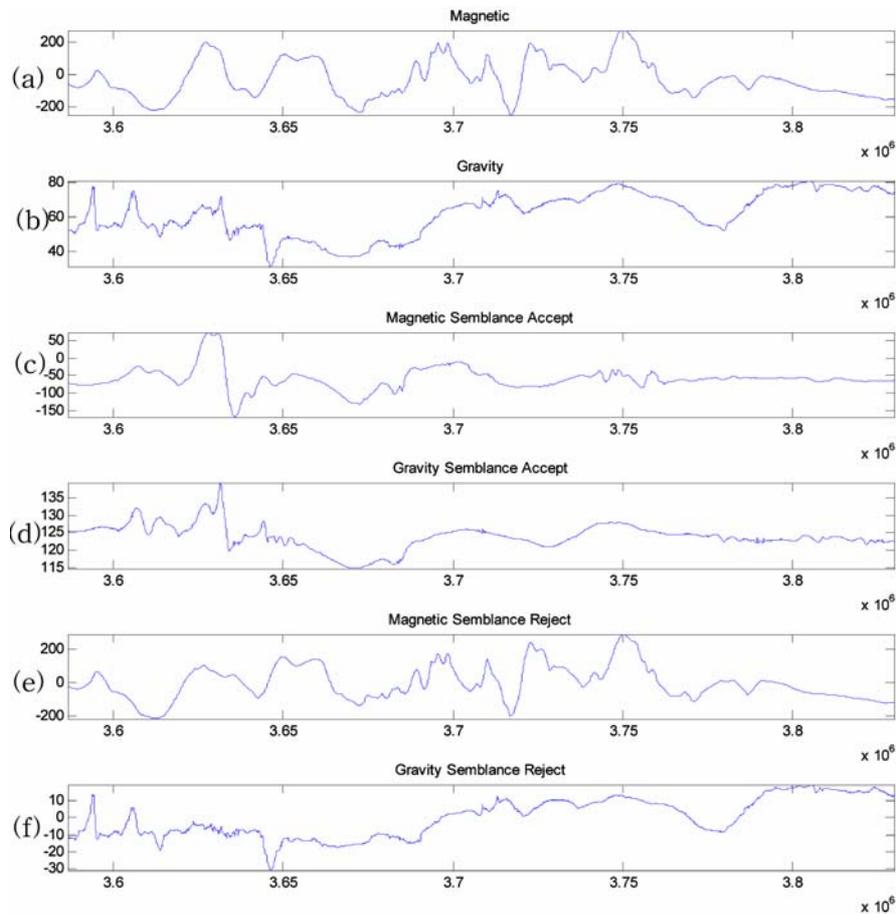


Fig. 3. Wavelet-based semblance filtering of magnetic and gravity data. (a) Magnetic and (b) gravity profile extracted from Fig. 2. Filtered signal for (c) magnetic and (d) gravity profile by accepting the components which meet some criteria based on their phase correlation, and rejected part of (e) magnetic and (f) gravity profile which does not meet the criteria. The unit of y axis for magnetic data is nT and gravity data is mgal, and x axis indicates the UTM coordinate.

진전조 현상의 해석에 적용할 수 있을 것으로 생각된다. 즉, 지진에 의한 영향을 받지 않은 지역의 지자기 자료와 지진에 의한 영향이 클 것으로 예상되는 지자기 자료에 대해 서로 필터링을 수행해서 거절된 성분을 분석로 예매우 중요한 정보를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

포텐셜 자료의 복합 해석

웨이블릿 기반의 샘플런스 필터링을 포텐셜 자료의 복합 해석에 적용하였다. 일반적으로 중력과 자력 탐사 자료는 탐사 대상에 따라 양 혹은 음의 상관관계를 강하게 보인다. 이와 같은 점을 고려하여 중력 및 자력 자료의 상관 관계에 따른 필터링 결과를 제시

하였다.

Fig. 2는 해양 탐사의 일환으로 수행된 중력 및 자력 탐사 해석 결과이다. 이 지역은 해저에서 분출한 화성암과 퇴적 분지가 복잡하게 섞여있는 지역으로, 화성암 부근에서 높은 자력 이상과 중력 이상을 기대하고 탐사가 수행되었다. 일반적으로 해양 탐사를 수행할 때, 중력과 자력 자료에 대한 측정의 분포는 일치하기 때문에 자료의 해상도는 동일하다. 하지만, 본 대상지역은 화성암체가 위치하고 있어 자력과 중력 탐사가 나타내는 반응은 해상도가 다소 다른데, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 자력자료의 변화가 보다 심하게 나타나고 있다. 웨이블릿 기반의 샘플런스는 scale을 기반으로 원래의 신호를 변환하여 상관도를 분석하게 되므로, 본 자료와 같이 반응의 해상

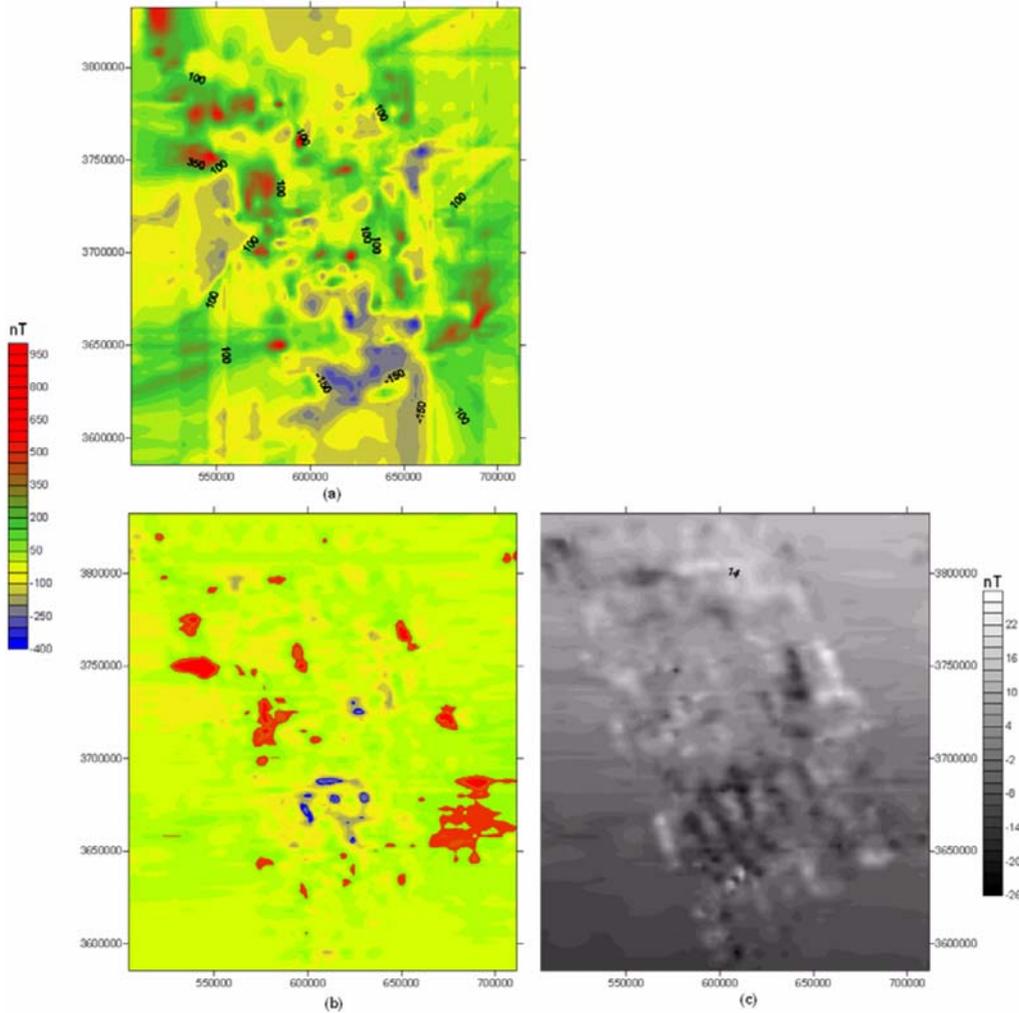


Fig. 4. Filtered result of magnetic with gravity map. (a) Original magnetic map (b) Accepted component of magnetic map filtered with gravity map (c) Rejected component of magnetic map. The unit of scale bar is nT and the coordinate is UTM.

도가 다소 다른 경우에도 적절하게 이용될 수 있는 장점이 있다.

먼저, 측선 자료에 대한 반응을 살펴보기 위해서, Fig. 2에서 검은 선으로 나타낸 것처럼, 두 탐사자료의 중앙 부분에서 측정 자료를 추출하였다. Fig. 3은 추출된 자력 및 중력 측선과 샘플링 필터링에 의한 승낙 부분(accepted part)과 거절 부분(reject part)을 나타낸 것이다.

그림에서 볼 수 있듯이, 측선의 좌측 구간에서는 자력과 중력의 상관성이 매우 좋아서 동일하게 높은 결과 값이 승낙 신호에서 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 나머지 구간에서는 자력 탐사 자료의 중요한 신호가 명확하게 나타나고 있지 않고 있는데,

이는 중력자료가 화성암체에 대해 가지는 해상도가 자력에 비해서는 다소 낮아서 자력 자료를 뒷받침하지 못한 결과로 보인다.

Fig. 4는 샘플링 필터링을 2차원으로 확장하여 중력과 자력 자료의 상관성에 따라 필터링을 수행한 결과를 자력 자료에 대해 나타낸 것이다. (b)에 표시된 승낙 신호 부분을 살펴보면, Fig. 3의 측선 자료에 비해 원 자료의 이상대에 해당하는 구간이 많이 남아 있는 것으로 보이며, 자력값의 높고 낮음이 비교적 분명하게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 또한 (c)의 거절 신호 부분에서 뚜렷한 이상 분포를 찾을 수 없는 것으로 보아, 전체 영역에서는 중력과 자력의 상관성이 좋게 나타난 것으로 보인다.

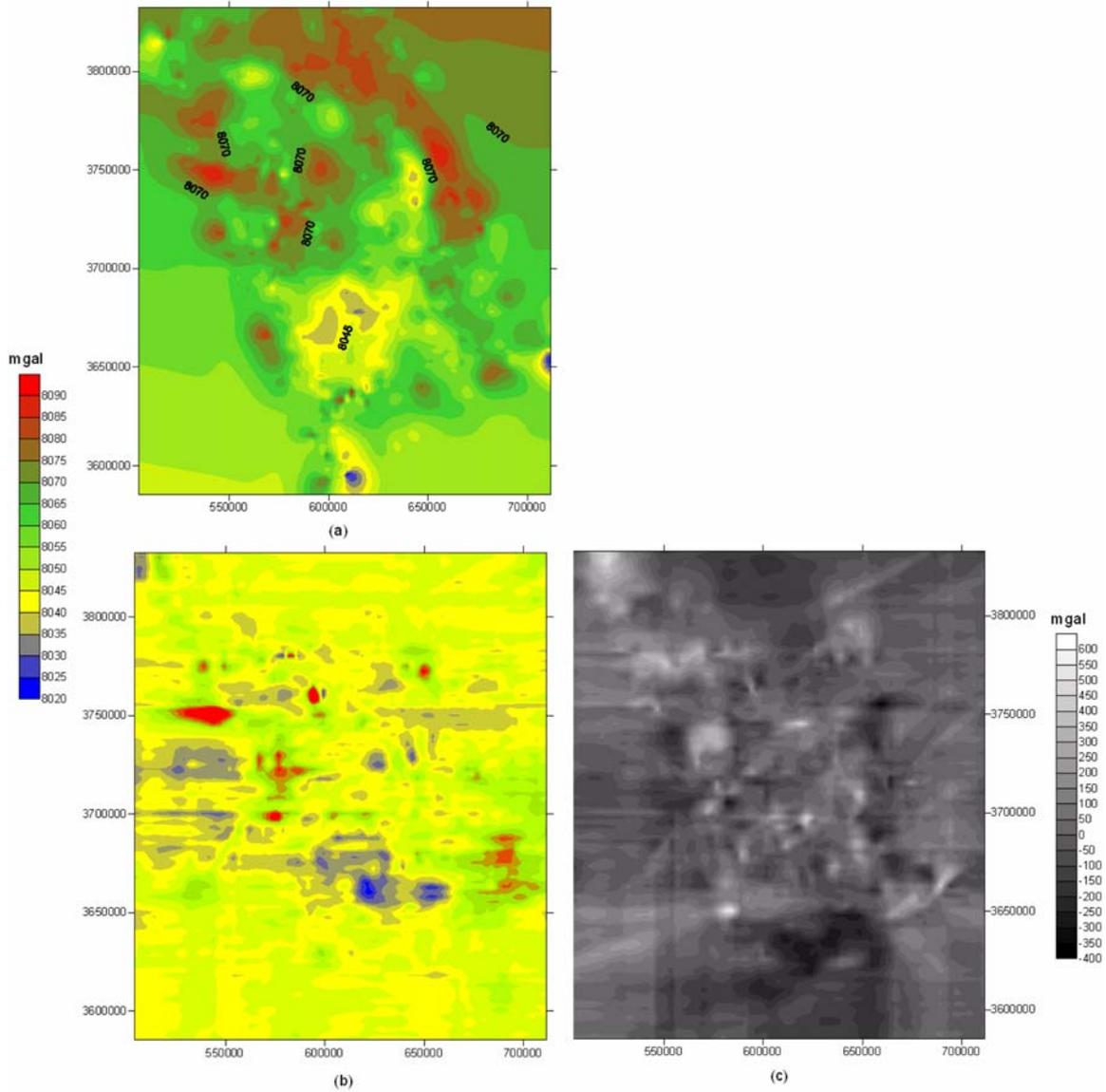


Fig. 5. Filtered result of gravity with magnetic map. (a) Original gravity map (b) Accepted component of gravity map filtered with magnetic map (c) Rejected component of gravity map. The unit of scale bar is mgal, and the coordinate is UTM.

이러한 현상은 Fig. 5의 중력 자료의 필터링 결과에서도 비슷하게 나타난다. Fig. 3의 축선 해석 결과에서는 일부 구간을 제외하고는 자력과의 상관성이 떨어져서 신호의 이상대가 제대로 반영되지 못했었다. 그러나 (b)의 승낙 신호 부분에서 자력의 그것과 유사한 이상대가 잘 나타나고 있고, 자력의 거절 신호에 비해서는 값이 크지만, 역시 중력의 거절 신호 자료 (c)에서도 별다른 이상대가 나타나지 않아 상관성이 좋은 신호가 많이 받아들여졌음을 알 수 있다.

마지막으로 Fig. 6은 중력과 자력에 대한 승낙 신호 부분만 모아져 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 각 자료 값의 높고 낮은 부분이 상관성 있게 잘 나타나고 있으며, 예상한 바와 같이 중력 자료보다는 자력 탐사 결과 부분에서 화성암체에 의한 강한 이상대가 더 많이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이 그림을 통해 이 지역에 대한 복합 해석을 가능하게 한 것으로 볼 수 있다.

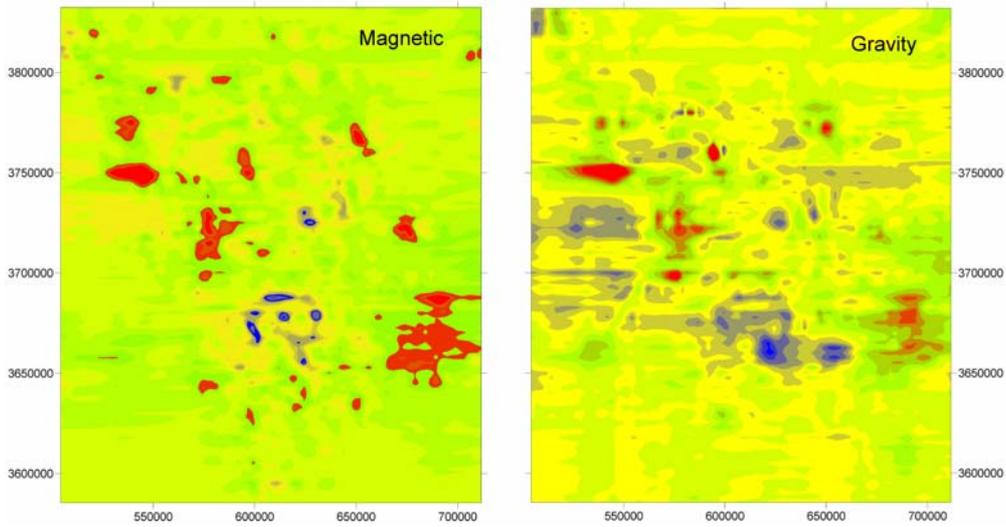


Fig. 6. Correlated components of each data set. Left figure is accepted filtered component of magnetic data and (b) right is accepted filtered component of gravity data. The coordinate is UTM.

결론

웨이블릿 기반의 semblance 기법은 국지적으로 나타나는 불연속적인 신호를 효과적으로 구분해 낼 수 있는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 장점은 특히 자연계에 존재하는 대부분의 비정상상태의 신호를 해석하는데 매우 유용할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 이와 같은 기법을 지구물리 자료의 필터링에 적용하였다. 먼저, 각기 다른 관측소에서 수집된 지자기 자료의 필터링을 통해 고주파 잡음 제거의 새로운 방안을 제시하였고, 향후 지진 전조현상 연구를 위한 활용 가능성을 제안하였다. 또한, 상호 연관성을 가질 것으로 생각되는 중력 및 자력 탐사 자료의 필터링에 적용하여 복합해석에도 적용될 수 있음을 제시하였다.

사사

본 연구는 기상청 지진기술개발사업(CATER 2009-

5303)의 지원으로 수행되었고, 연구를 지원해 주신 관계기관에 감사드립니다.

참고문헌

양준모, 이덕기, 권병두, 윤용훈, 2004, 이천관측소에서 측정된 지자기장 및 지자기 전달함수의 시간적 변동성. 한국지구과학회지, 25, 604-614.

Carr, J.R., 1994, Numerical Analysis for the Geological Sciences. Prentice Hall, NJ, USA, 592 p.

Cooper and Cowan, 2008, Wavelet based semblance analysis. Computers and Geosciences, 34, 95-102.

Cooper, G.R.J., 2009, Wavelet-based semblance filtering. Computers and Geosciences, 35, 1988-1991.

Harada, M., Hattori, K., and Isezaki, N., 2004, Transfer function approach to signal discrimination of ULF geomagnetic data. Physics and Chemistry of the Earth, 29, 409-417.

Strang, G. and Nguyen, T., 1996, Wavelets and Filter banks. Wellesley-Cambridge Press, MA, USA, 520 p.

von Frese, R.R.B., Jones, M.B., Kim, J.W., and Kim, J.H., 1997, Analysis of anomaly correlations., Geophysics, 62, 342-351.

2009년 9월 23일 접수
 2009년 10월 19일 수정원고 접수
 2009년 10월 20일 채택