Dual Kalman Filter를 이용한 G/R 비의 실시간 결정
Real-time Decision of G/R Ratio using the Dual Kalman Filter

유철상*, 김정호**
Chulsang Yoo, Jungho Kim

요 지

본 연구에서는 G/R 비의 실시간 결정을 목적으로 Dual Kalman Filter를 이용하였다. Dual Kalman Filter는 이중추정(dual estimation)을 기반으로 하는 자료동화기법으로 기존 Kalman Filter와 상이한 상태-공간 모형으로 구성된다. 이에 Dual Kalman Filter와 기존 Kalman Filter의 적용성능을 비교·검토하였으며, 다양한 비교를 위하여 강우의 임계치와 누적시간의 고려여부에 따른 결과를 추가적으로 검토하였다. 두 기법의 적용성능 비교결과 Dual Kalman Filter가 우수한 것으로 나타났다. 이는 Dual Kalman Filter 기법이 G/R 비의 큰 변동성과 이상치를 효과적으로 필터링하고, 시계열 모형의 매개변수를 실시간으로 갱신하여 정확한 예측치를 추정하였기 때문인 것으로 판단된다.

핵심용어 : Dual Kalman Filter, G/R 비, 레이더 강우, 편의보정

1. 서론

레이더 강우의 편의보정(bias correction)방법은 레이더 강우의 품질(quality)을 향상시킬 수 있는 대표적인 방법으로 G/R 비(Ground rainfall/Radar rainfall)를 이용한다. G/R 비는 강우의 간헐성(intermittency)으로 인해 비정상적인 값이 빈번하게 발생하게 된다. 이에 선행연구들(Anagnostou et al., 1998; Anagnostou and Krajewski, 1999)은 이러한 문제를 해결하기 위하여 Kalman Filter(이하 KF, Kalman, 1960)기법을 적용하였다.

일반적으로 G/R 비에 적용되는 KF는 알고리즘 과정의 일부분인 예측치의 추정을 단순하게 AR(1) 모형으로 가정하여 적용되고 있다. AR(1) 모형의 매개변수는 실제 KF 적용상에서 관측자료의 시계열 분석을 통해 도출된 값으로서 적용되는 모든 시간에 대해 일정하게 적용되고 있는 실정이다. 하지만, 시간에 따라 변동성이 큰 강우자료를 기반으로 추출한 G/R 비를 대상으로 할 경우, AR(1) 모형의 매개변수를 시간에 상관없이 일정하게 적용하는 것은 비합리적인 예측치 발생을 초래하게 된다. 따라서 시간변화에 따른 적절한 매개변수의 갱신이 가능한 기법이 필요한 실정이다.

이러한 KF의 한계성이 보완된 기법으로 Dual Kalman Filter(이하 DKF)가 있다(Wan and Nelson, 1997). DKF는 Dual estimation이론에 기반을 둔 기법으로 관측자료를 상태 추정 알고리즘과 매개변수 추정 알고리즘에서 공유한다는 점을 장점이라 할 수 있다. 따라서 실시간으로 상태예측 모형의 매개변수를 갱신함으로서 보다 정확한 예측치의 도출이 가능하여 자료동화결과의 성능을 향상시킬 수 있다.

이에 본 연구에서는 기존 KF의 한계성을 극복하고자 DKF를 이용하여 G/R 비를 실시간 결정

* 정회원・고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 교수・E-mail : envchul@korea.ac.kr
** 학생회원・고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부 박사과정・E-mail : bbanz2@hanmail.net

하였다. 이를 위해 기존 KF와 DKF의 성능을 비교·검토하였다. 또한, 이 두 기법의 다양한 비교를 위하여 강우의 임계치와 누적시간의 고려여부에 따라 여러 경우를 고려하였다.

2. Dual Kalman Filter

Dual Kalman Filter는 이중추정(Dual Estimation, DE)이론에 기반을 둔 기법이다. 이중추정방법은 상태 시스템(state system)과 매개변수 시스템(parameter system)으로 구분되어 있으며, 각각은 시스템의 상태추정과 매개변수 추정을 목적으로 적용된다. 따라서, DKF는 관측자료를 상태추정 알고리즘과 매개변수 추정 알고리즘에서 공유한다는 장점이 있다. 자세한 Dual Kalman Filter 알고리즘은 Wan and Nelson(1997)을 통해 확인할 수 있다.

3. 적용방법

3.1 대상유역 및 적용자료

본 연구에서는 대상 지역으로 서울지점을 선정하였으며, 선정된 지역을 중심으로 30 km × 30 km 구역으로 설정하였다(그림 2). 각 지역에 포함된 AWS 지점의 개수 및 고도, 그리고 분석에 사용된 호우사상의 기간을 각각 표 2에 정리하였다.

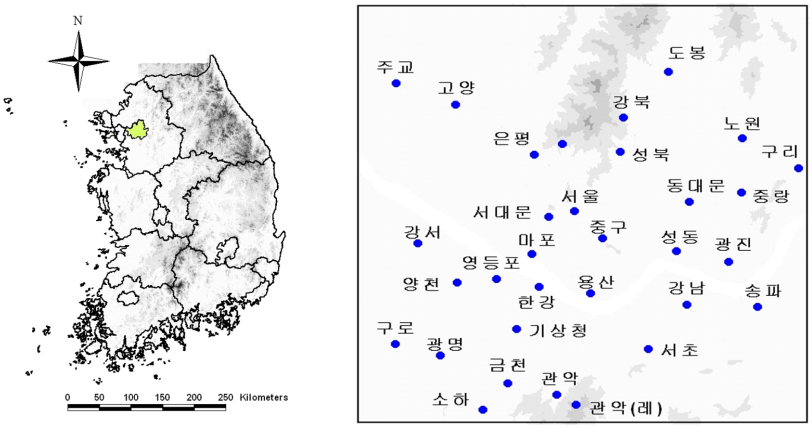

그림 2. 대상유역(서울지점)

표 2. 선정된 지역에 대한 AWS 현황 및 적용된 호우사상의 기간

구분	지역	AWS 현황	고도(m)	호우사상 적용기간
내륙	서울	32	86	2010 07/16/00:00-07/18/10:10

3.2 G/R 비의 시계열 모형결정

강우의 임계치와 누적시간의 적용조건에 따라 총 4가지 Case로 구분하였다. 강우의 임계치와 누적시간의 적용조건은 Anagnostou et al(1998)와 Anagnostou and Krajewski(1999)의 연구결과를 참고하여 결정하였다. 각 Case의 적용조건과 시계열 모형은 표 3과 같다. 표에서 결정된 시계열 모형은 강우가 관측된 일부기간을 이용하여 결정하였으며, 본 연구에서는 적용과정에서 이 구간을 학습기간(Training Period)으로 정의하여 그림에 표기하였다.

표 3. 강우의 임계치와 누적시간의 적용조건별 G/R 비에 대한 시계열 모형

지역	Case	강우의 적용조건		시계열 모형
		임계치 (mm/hr)	누적시간 (분)	
서울	1	0.0	10	$0.64\,Y_{t-1}+z_t,\ \ z_t \sim N(0, 13.925)$
	2	0.5	10	$Y_t = 0.74\,Y_{t-1}+z_t,\ \ z_t \sim N(0, 0.421)$
	3	0.0	60	$Y_t = 0.96\,Y_{t-1}+z_t,\ \ z_t \sim N(0, 0.060)$
	4	0.5	60	$Y_t = 0.97\,Y_{t-1}+z_t,\ \ z_t \sim N(0, 0.024)$

4. Dual Kalman Filter와 Kalman Filter의 실시간 G/R 비 추정결과 비교

총 4가지 Case에 대한 DKF와 KF의 G/R 비 추정결과를 비교하였다. 이 두 기법의 실시간 G/R 비 추정결과를 관측 G/R 비(그림에서 Observed)와 함께 그림 3에 나타내었다.

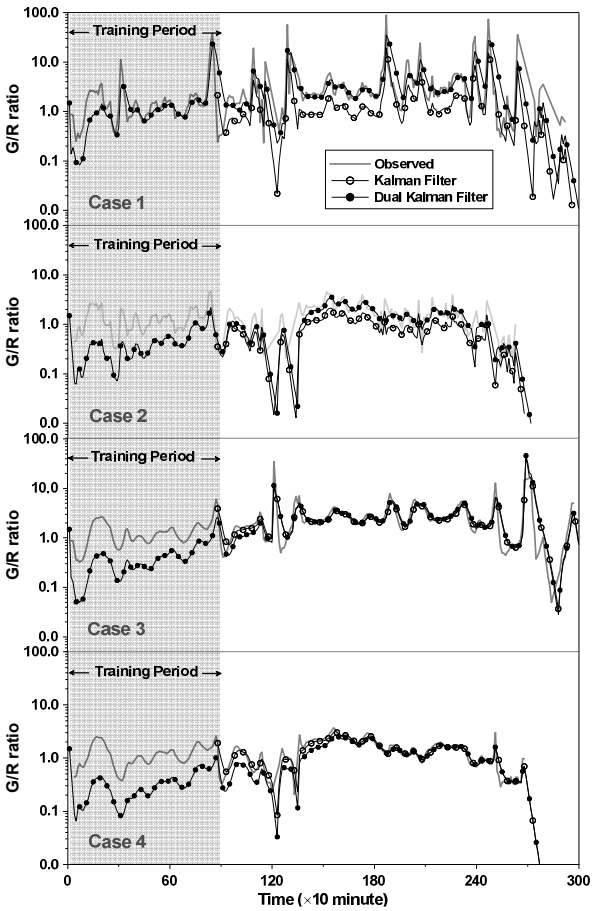

그림 3. DKF와 KF의 G/R 비 추정결과 비교

결과를 살펴보면 먼저, DKF와 KF의 가장 큰 차이점은 학습기간의 필요유무이다. 기존 Kalman Filter는 관측자료의 시계열 분석을 통한 모형구성으로 상태-공간 모형이 결정된다. 따라서 일정기간동안의 관측자료로부터 시계열 모형과 매개변수를 결정하게 된다. 즉, 학습기간 동안

은 G/R 비의 추정이 불가능하다. 반면에 DKF는 시계열 모형의 매개변수를 초기조건의 형태로 입력하여 적용하며, 초기조건이 입력된 이후부터는 매 시점별로 매개변수를 실시간으로 갱신한다. 즉, DKF는 학습시간이 없이 바로 적용이 가능하다.

또한, KF의 경우는 G/R 비가 과소하게 추정되는 경향이 있는 것으로 나타났다. 이는 Case 1과 2에서 확인할 수 있으며, 이러한 결과는 AR(1)모형의 매개변수가 상대적으로 작게 추정된 경우로서, 매개변수를 실시간으로 갱신하는 DKF의 결과와 상반된다. 마지막으로, Case 1과 같이 관측 G/R비의 변동성이 큰 경우, DKF의 성능이 KF보다 우수한 것으로 나타났다. DKF는 KF와 달리 관측 G/R 비가 급변동하는 시점에서 안정적인 성능을 보였으며 특히, 120 시간시점에서 두드러지게 나타났다.

5. 결론

기존 Kalman Filter와 Dual Kalman Filter의 적용성능 비교결과 Dual Kalman Filter가 우수한 것으로 나타났다. 이는 시계열 모형의 매개변수가 실시간으로 갱신되는 Dual Kalman Filter가 G/R 비의 큰 변동성과 이상치를 효과적으로 필터링하고, 상대적으로 정확한 예측치를 추정한 결과로 판단된다.

감 사 의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0014566).

참 고 문 헌

1. Anagnostou, E.N., and Krajewski, W.F. (1999). Real-time radar rainfall estimation. Part I: Algorithm formulation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 16, pp. 189-197.
2. Anagnostou, E.N., Krajewski, W.F., Seo, D.J., and Johnson, E.R. (1998). Mean-field rainfall bias studies for WSR-88D." *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 3, No. 3, pp. 149-159.
3. Kalman, R.E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Transactions of the ASME - Journal of Basic Engineering,* No. 82 (Series D), pp. 35-45.
4. Wan, E.A., and Nelson, A.T. (1997). Dual Kalman filtering methods for nonlinear prediction, smoothing, and estimation. *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 793-799.