GOES-9호 위성 영상 자료를 이용한 강수량 산출

이정림*, 서명석, 곽종흠, 소선섭
공주대학교 대기과학과
Telephone: 041-850-0920, E-mail: jrlee@kongju.ac.kr

Estimation of Rainfall Using GOES-9 Satellite Imagery Data

Jung-Rim Lee, Myoung-Seok Suh, Chong-Heum Kwak, Seun-Seup So

Abstract

국지적으로 단시간 내에 많은 양의 강한 비가 내리는 현상인 집중호우는 발생부터 성장, 쇠퇴까지의 과정이 단기간에 이루어지고, 그 변동성이 아주 크다. 그러므로 정확한 예보를 위해서는 단시간예보(nowcasting) 기법이 필요한데, 이를 위해서는 연속적이고, 정확한 관측이 필요하다. 집중호우의 관측에는 우량계, 레이다, 위성 관측 등이 사용되는데 이 연구에서는 GOES-9호 위성영상자료를 이용하였고, 2003년 여름의 8개 강수사례에 대해 분석하였다. 집중호우시의 강수량을 산출하기 위해 Power-law curve를 사용하였고, NOAA/NESDIS에서 개발하여 현업에 사용 중인 Auto-Estimator의 무강수 픽셀 보정방법을 이용하여 산출된 강수량을 보정하였으며, 이를 기상청의 자동기상관측자료(Automatic Weather Station: AWS)와 비교하였다. 위성영상자료의 시간 대표성을 분석하기 위해 위성의 관측 시간에 대해 전, 후, 중심을 기준으로 각각 15분, 30분, 60분 누적강수량과 비교하였고, AWS의 공간 대표성을 분석하기 위해 위성영상자료의 3×3, 5×5, 9×9 픽셀을 면적 평균하여 각각 비교하였다. 분석 결과 대부분의 사례에서 위성의 관측시간을 시작으로 60분 동안 누적한 강수량과 상관성이 가장 크게 나왔고, 면적에 대해서는 거의 차이가 없었다. 또한, 무강수 픽셀 보정방법의 하나로 구름의 성장률을 보정해 주었다. 그 결과 구름의 성장률을 보정해 주었을 때 상관계수가 0.05 이상 상승하였다.

1. 서론

국지적으로 단시간 내에 많은 양의 강한 비가 내리는 현상인 집중호우는 발생부터 성장, 쇠퇴까지의 과정이 단기간에 이루어지고, 그 변동성이 아주 크다. 그러므로 정확한 예보를 위해서는 단시간예보(nowcasting) 기법이 필요한데, 이를 위해서는 연속적이고, 정확한 관측이 필요하다. 집중호우의 관측에는 우량계, 레이다, 위성 등이 사용되는데, 이중 위성자료는 한번에 아주 넓은 영역을 관측할 수 있고, 비교적 고해상의 시·공간 분해능을 갖는다.

위성자료를 이용한 강수량 추정에 관

한 연구는, Scherer and Hudlow(1971)와 Scofield(1987)가 적외(Infrared: IR) 영상에서 찬 운정을 가진 구름이 따뜻한 운정을 가진 구름보다 더 많은 강수가 있다는 것을 밝혀내었고, 이후 Grifth et al.(1978)은 구름의 발달단계를 고려한 순간강수량을 추정하였으며, Negri et al.(1984)은 구름의 면적이 강수량을 결정하는 가장 주요한 인자라고 하였다. Arkin(1979)과 Arkinand Ardanuy(1989)은 운정온도가 235K보다 낮은 지역에서는 3 mm/h의 강수, 높은 운정온도를 갖는 대류운은 비강수 지역으로 간주하는 간단한 방법으로 강수량을 추정하였고, Alder and Negri(1988)는 대류운과 층운을 구별하여 강수량을 추정하였다. 한편 우리나라에서는 레이다 자료와 GMS 자료를 이용한 강수강도지수를 산출(기상연구소, 1992)하였고, 권태영(2001)은 GMS-5 IR1 밝기온도와 AWS 강우량의 관계에 대해 연구한 결과 그 상관계수가 -0.46으로 통계학적으로 의미 있는 결과를 보였으며, 강수/무강수 구름 판별의 필요성을 제시하였다. 또한 전지구 강수량 추정에 널리 이용되는 Arkin(1979), Negri et al.(1984), Alder and Negri(1988)의 세 가지 방법을 비교한 연구(이정은, 손병주, 1999)에서 정량적인 강수량 추정은 실시간 관측 측면에서 신뢰도가 낮게 나타나 강수의 분포와 강도의 파악 등을 위한 실시간 강수량 예보에 유용한 정보가 됨을 시사했다.

본 연구에서는, 집중호우시의 강수량 추정을 위하여 높은 시·공간 분해능과 정확도를 가진 정지궤도 기상위성인 GOES-9호 위성의 IR1 채널 자료를 이용하여 우리나라에서의 강수량과 운정온도와의 관계를 분석하였다. 회귀식은 Power-law curve를 이용하여 위성영상자료로부터 강수량을 산출하였고, 미국 NOAA/NESDIS에서 개발하여 현업에 사용 중인 Auto-Estimator의 무강수 픽셀 보정방법을 이용하여 산출된 강수량을 보정하였다.

2. 자료 및 연구방법

2.1. 자료

본 연구에서 사용한 자료는 정지궤도 기상위성자료(GOES-9)와 자동 기상 관측(Automatic Weather Station: AWS) 자료이다. GOES-9호 위성은 2003년 5월 GMS-5호가 수명을 다함에 따라 동경 155°로 이동해 기상관측을 실시해 오고 있다. GOES-9호 위성은 시간 관측 주기가 준 30분 간격이고, 공간 해상도가 IR1(10.2㎛~11.2㎛) 채널의 경우 4㎞로, 시·공간적으로 고분해능을 갖고 있고, 관측주기는 준 30분 간격이다. 이 연구에서는 2003년 여름(6, 7, 8월)의 GOES-9호 위성의 IR1 영상자료를 이용하였다. 본 연구에서 사용된 기상청의 AWS 지점은 406개이며, 그 분포는 Fig. 1과 같다. 기상위성영상자료와 다양한 시간대의 지상관측자료와의 관계를 규명하기 위해 1분 간격의 강수량 자료를 사용하였다.

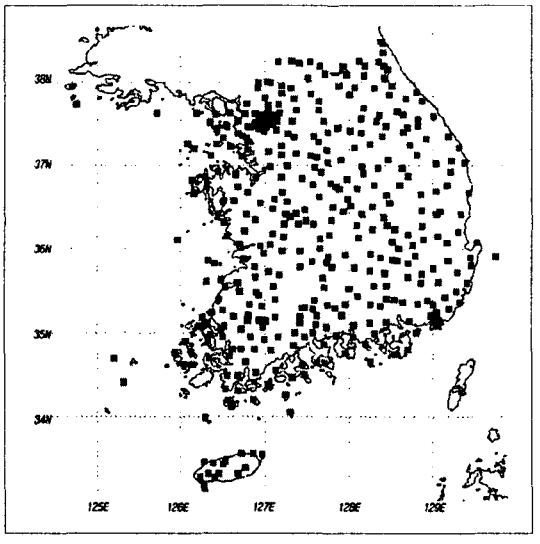

Fig. 1. Distribution of AWS location.

위성영상 자료와 AWS 자료는 서로 다른 관측 특성을 가지고 있는데, 공간적으로 AWS 자료는 한 지점의 값인 반면, 위성영상 자료는 위성의 시야각 내에 있는 면적 평균값이다. 시간적으로도 AWS 자료는 연속된 시간의 누적값인 반면, 위성은 한 순간의 관측값이고, 관측 대상에 있어서도 강수량을 직접 관측하는 AWS 자료와 구름의 운정온도를 관측하는 위성관측과의 차이점이 있다. 이러한 자료를 함께 사용함에 있어 두 자료간의 이질성을 극복하기 위해서는 자료의 사용에 앞서 두 자료의 시간적, 공간적 특성을 맞춰주는 전처리 과정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 위성 관측 시간에 대해 전, 후, 중심에 대해 각각 15분, 30분, 60분 누적 강수량을 계산하여 사용하였고, AWS 한 지점 강수량의 대표성에 관해서는 위성의 공간 분해능을 고려하여 3×3, 5×5, 9×9 픽셀의 면적 평균을 각각 사용하였다.

2.2. 연구방법

위성영상 자료를 이용하여 강수량을 추정하기 위해서는 적외선 영역과, 마이크로웨이브 영역의 자료를 사용하는데, 적외선 자료로부터는 구름의 운정 온도를 계산하여 운고를 추정하고, 마이크로웨이브는 구름의 빗방울을 직접 관측한다. 그리고 가시광선 자료는 강수 구름의 두께와 운형을 추정하는데 도움을 준다. 그러나 마이크로웨이브 센서는 현재 극궤도 위성에만 탑재되어 있어, 시간규모가 작은 집중호우 예측에는 적당하지 않다. 반면 적외선 센서는 정지궤도 위성에 탑재되어 있어 시간 관측주기가 좋긴 하지만 운정온도로부터 간접적으로 강수량을 산출하는 방법이므로, 연구 지역과 계절, 구름의 종류, 발달 상태에 따라 실제 강수량과 차이가 생긴다. 실제로 운정 온도가 아무리 낮은 구름이라도 구름의 50% 정도에서만 강수 현상이 있어(Woodley and Sancho, 1971), 강수-비강수픽셀을 판별해내는 것이 중요하다. 또, 구름의 운정온도가 낮아도 주변의 수증기량이 많고 적음에 따라 강수량에 차이가 있다.

2.2.1. 강수량과 IR 온도와의 관계

운정 온도로부터 강수량을 산출하기 위해 아래의 NOAA/NESDIS의 Power-law 식을 사용하였다.

$$R = 1.1183 \cdot 10^{11} \cdot \exp(-3.6382 \cdot 10\text{-}2 \cdot T^{1.2})$$

위 식에서 T는 운정 온도(단위는 K)이며, R은 산출된 강수량(단위는 mm/h)이다. 이 연구에서는 2003년 여름동안의 총 8개의 강수사례를 선정하여 분석하였고, 강수량 산출식의 단위가 mm/h 인 점을 고려하여 15분과 30분 누적강수량과의 비교 시에는 위성으로부터 산출된 강수량을 4와 2로 각각 나누어 계산하였다.

2.2.2. Bias 보정

운정온도로부터 NOAA/NESDIS의 Power-law식을 사용하여 구해진 강수량과 AWS 관측 강수량의 평균 Bias를 보정하였다. Bias는 센서자체의 보정과정에서 발생하거나 산출 알고리즘이 가지는 오차에 의해서 주로 발생한다. 하지만 이 연구에서는 Power-law curve가 만들어진 지역과 본 연구의 대상 지역인 우리나라와의 환경적 차이에서 기인하는 차이가 추가된다. 본 연구에서는 위성영상 자료로부터 산출된 강수량에 Bias 값을 더하여 Bias 보정을 하였다.

2.2.3. 구름의 발달상태 보정

운정온도가 아무리 낮아도 구름의 50%

에서만 강수가 발생하므로, 운정온도가 낮은 구름 중에서도 강수-비강수 구름의 판별이 필요하다. 따라서 Power-law 식에 의해 산출된 강수량에 구름의 발달상태를 보정해 주었다. 구름의 발달상태 보정은 운정온도가 더 차가워지고 구름이 확장되는 영역에서 더 활동적이고 더 많은 강수를 생산하기 때문에 대류운 중에서도 성장하는 부분과 쇠퇴하는 부분을 찾아 보정해주는 방법이다. 이 방법은 연속된 두 적외 영상에서 운정온도가 감소하였을 경우 발달하는 구름으로 판별하여 강수구름으로 분류하고, 증가하거나 그 상태를 유지할 경우엔 쇠퇴하거나 발달이 멈춘 구름으로 판별하여 비강수 구름으로 분류하였다.

3. 사례(2003년 7월 9일 08 LST~12 LST)

이 사례는 장마전선이 우리나라 중부지방까지 북상하여 강수가 발생했던 사례이다. Fig. 2는 9일 00 UTC의 지상일기도로, 일본 남쪽 해상에 북태평양 고기압이 자리하고, 일본 북동부 해상에 오호츠크해 고기압이 자리 잡고 있다. 기압골이 만주와 화북, 화중 지방으로 연계되어 장마전선을 활성화시켜 중부지방인 충청남북도를 중심으로 강수가 있었으며, 12시

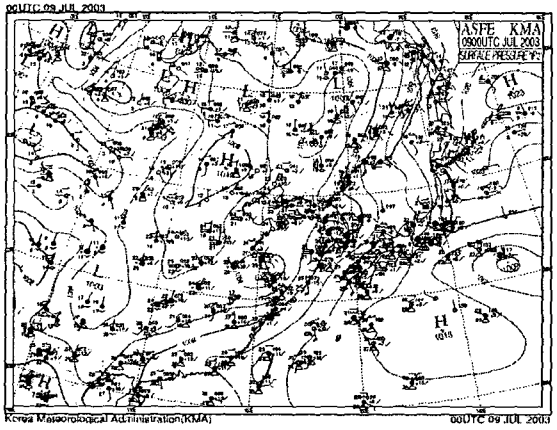

Fig. 2. Surface weather chart at 00 UTC 9 July, 2003.

간 동안 청주, 보은, 문경 지방에 80㎜이상의 높은 강수가 있었다(Fig. 3). Fig. 4의 위성 영상에서 한반도를 남서 - 북동 방향으로 가로지르는 구름대를 볼 수 있으며, 이 구름대가 천천히 이동하면서 우리나라 중부지방에 많은 강수가 있었다.

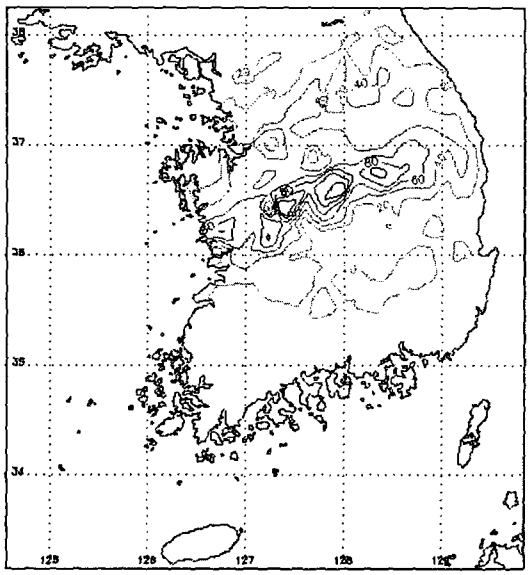

Fig. 3. Distribution of observed 12 hour accumulated precipitation from 2100 UTC 8 to 0900 UTC 9 July, 2003.

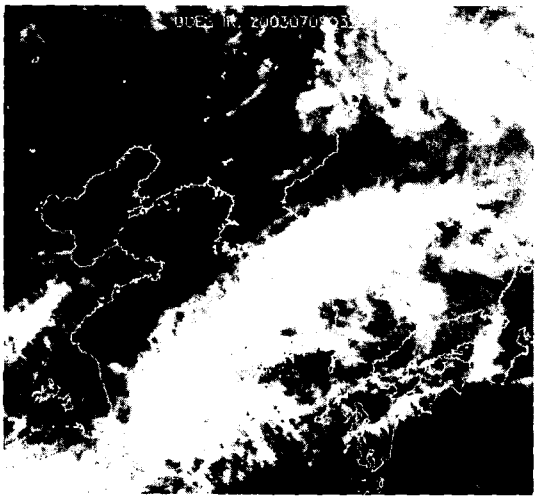

Fig. 4. GOES IR image at 0325 UTC 9 July, 2003.

4. 결과

4.1. 위성영상의 시간대표성 및 AWS의 공간대표성 분석

위성의 시간대표성을 분석하기 위해 위성관측 시간에 대해 전, 후, 중심을 기준으로 15분, 30분, 60분 누적 강수량을 사용하였다. 8개 사례에 대해 분석한 결과, 대부분의 사례에서 위성관측 시간을 시작으로 강수량을 누적하여 사용했을 때 상관계수가 0.50으로 가장 큰 상관성이 나타났으며, 누적 시간에 대해서는 60분 동안 누적 강수량과의 상관계수가 0.51로 가장 큰 값을 나타냈다. 전체적인 위성영상자료의 시간 대표성에 대해서는 위성의 관측시간을 시작으로 60분 동안 누적한 강수량과의 상관성이 0.53으로 가장 크게 나왔다. AWS의 공간 대표성에 대해서는 위성의 3×3, 5×5, 9×9 픽셀의 면적평균과 비교한 결과 각각 0.505, 0.506, 0.508로 미세한 차이만을 나타냈다.

4.2. 구름의 발달상태 보정

운정온도가 낮아도 비가 내리지 않는 권운과 모루운, 또는 적란운 중에서도 강수현상이 없는 비활성의 구름에 대해 구름의 발달상태를 보정해주는 과정을 실시하였다. Fig. 5와 Fig. 6은 구름의 발달상태 보정 전과 후의 AWS 관측 강수량과 위성 산출 강수량 사이의 산점도와 상관계수를 나타낸다. 그림에서 구름의 성장률 보정으로 인해 많은 점들이 제거되었고, 보정전에 0.52, 보정 후에 0.58의 상관계수를 나타내 상관계수가 상승하였다.

5. 결론 및 향후 연구계획

정지궤도위성의 IR 영상자료는 비교적 높은 시·공간 분해능으로 집중호우의 관측에 좋은 조건을 가지고 있지만, 강수를 간접적으로 관측하여 정확한 강수량 산출

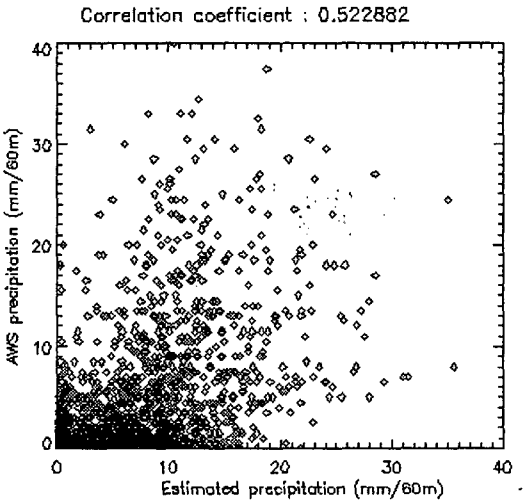

Fig. 5. Satter plot between AWS observed-precipitation and satellite estimated-rainfall.

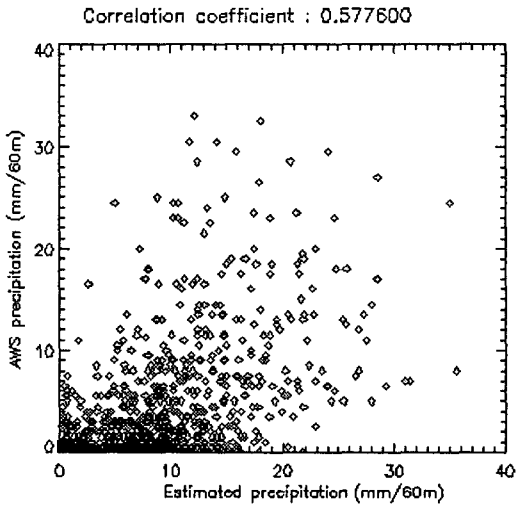

Fig. 6. Same as Fig. 5 except for growth rate corrected.

에 어려움이 있다. 반면 현재 극궤도에만 장착되어 있는 마이크로웨이브는 강수입자를 직접 관측하여 좋은 강수자료를 산출하지만 시·공간 분해능이 낮아 단시간예보의 사용에는 사실상 불가능하다. 따라서 단시간 예보를 목적으로, 위성의 IR 온도와 강수량의 관계에 대한 많은 연구

가 있었고, 예보현업에도 이를 사용하고 있지만, 우리나라에선 IR 영상자료를 정성적으로만 사용하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 IR 영상자료의 정량적인 사용을 위한 몇 가지 접근을 하였다. 하지만 우리나라와는 다른 환경에서 만들어진 회귀식의 사용으로 인한 많은 오차가 있었다. 따라서 우리나라의 실정에 맞는 회귀식의 도출과 집중호우에 대한 세부적인 메커니즘의 활용이 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 기상청에서 시행하는 기상지진기술개발사업의 하나인 충청지방 악기상 예측시스템 개발 과제에서 수행된 것입니다

참고문헌

권태영, 2001: GMS-5 IR1 밝기온도와 AWS 강우량의 관계성 : 1998년 8월 중서부지역 집중호우 사례, *대한원격탐사학회지*, 17(1), 1-31.

기상연구소, 1992: 기상위성자료를 이용한 강수강도지수 산출(Ⅰ), *기상연구소*, MR 92-2

이정은, 손병주, 1999: GMS-5 적외자료를 이용한 한반도 지역에서의 강수량 추정, *한국기상학회지*, 35(1), 20-29

Alder, R. F. and A. J. Negri, 1988: A satellite infrared technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall. *J. Appl. Meteor.*, 27, 30-51.

Arkin, P. A., 1979: The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1382-1387

—— and P. E. Ardanuy, 1989: Estimation climatic-scale precipitation from space: *A Review. J. Climate*, 2, 1229-1238.

Griffith, C. G., W. L. Woodley, P. G. Grube, D. W. Martin, J. Stout and D. N. Sikdar, 1978: Rain estimates from geosynchronous satellite imagery: Visible and infrared studies. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1153-1171.

Negri, A. J., R. F. Adler and P. J. Wetzel, 1984: Rain estimation from satellites: an examination of the Griffith-Wodley technique, *J. Climate Appl. Meteor.*, 26, 1565-1576

Scherer, W. D. and M. D. Hudlow, 1971: A technique for assessing probable distributions of tropical precipitation echo lengths for X-band radar from Nimbus 3 HRIR data. *BOMEX Bull.*, 10, 63-68.

Scofield, R. A., 1987: The NESDIS operational cenvective precipitation technique. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1773-1792.

Woodly, W. L. and B. Sancho, 1971: A first step towards rainfall estimation from satellite cloud photographs. *Weather*, July, 279-289.

http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/arad/ht/ff/auto.html