

# 기상위성 및 레이더자료를 이용한 강수지수 산출

서애숙, 이미선,\*김금란

## I. 서 론

일반적으로 강수량 관측에는 우량계와 레이더가 널리 이용되고 있지만, 광범위한 해양지역이나 산악지역과 같이 기상 관측소가 적은 지역에서는 일정한 시간 간격으로 자료를 제공하는 기상위성자료가 매우 유용하다. 70년대부터 전 세계적으로 실시간 강수 모니터링의 필요성이 제기됨에 따라 위성자료를 이용한 강수 추정 방법에 관한 많은 연구가 진행되었다.

특히 구름의 온도가 감소할수록 강수 확률이 증가한다는 연구와 열대지역에서 나타난 가시영상의 밝은 구름이 강수구역과 밀접한 관계가 있다는 연구는 위성자료로 부터의 강수추정 연구발달에 동기가 되었다.

일본의 기상위성센터에서도 1980년 이후 위성자료로부터 강수량을 추정하기 위한 연구가 계속되어 왔다. 加勝 등(1980)은 AMeDAS 자동기상관측장비 1시간 우량과 위성의 가시 및 적외자료와의 관계를 조사하여 위성자료에 의한 강수량 추정의 가능성을 보여주었고 三木 등(1980), 中村 등(1981)은 위성자료와 강수강도와의 대응관계를 조사하였다. 그 후 레이더 자료가 디지털화되고 일본 전역의 레이더 관측자료의 취득이 가능하게 되면서 元木 등 (1985)은 위성자료와 디지털 레이더 자료를 결합하여 강수강도 추정을 시도하였다. 이 방법을 진전시켜 Osano et al (1988)은 가시와 적외자료를 병용한 위성강수 강도지수 추정법을 개발하였다. 이와 같은 결과로 일본에서는 1989년 3월 1일부터 위성강수 강도지수를 예보현업에서 활용하고 있다.

본 연구에서는 현재 일본의 기상위성센터에서 개발하여 기상청 현업으로 운영하고 있는 위성강수강도지수 (satellite-derived index of precipitation intensity : SP) 방법을 이용하여 우리 기상청에서 수신, 처리한 위성 및 레이더 자료에 적용하여 시험적으로 산출해 보고 결과의 효율성을 검토하고자 한다.

이와같은 시스템이 구축되면 수 시간전부터 강수지역의 이동 및 발달과정을 추적할 수 있고 이를 근거로 강수지역의 이동 및 강수강도의 증감을 예측할 수 있을 뿐 만아니라 집중호우를 조기에 발견할 수 있기 때문에 적절한 주의보·경보의 발표에 도움을 줄 수 있으리라 사료된다.

---

기상연구소 원격탐사연구실, \*기상청 위성담당

## II. 위성강수강도지수 기본 원리

위성강수강도지수(SP)는 GMS 기상위성자료를 이용하여 레이더 강수량과 유사한 강수강도 자료를 산출하는 방법이다. SP는 레이더 탐지영역 밖의 광범위한 영역에서의 강수 실태를 파악할 수 있도록 할 뿐만 아니라 우량계의 설치가 어려운 곳이나 지형의 영향으로 레이더빔이 도달하지 못하는 영역에 대해서도 강수량 추정을 가능하게 한다. SP 산출방법의 기본원리를 도식적으로 표현하면 다음의 Fig. 1과 같다.

SP는 구름층이 수직적으로 두껍고 높게 발달한 경우에 즉, 알베도가 높고 운정온도가 낮은 구름에서 많은 비를 동반한다는 기초적인 경험을 바탕으로 한다. 이 원리를 이용하여 "GMS의 적외(IR) 자료로부터 구한 휘도온도 (temperature of equivalent black body : TBB) 및 가시(VIS) 자료로부터 구한 알베도 ( albedo : ALB) 와 레이더 강수량 자료를 중회귀분석하여 두 자료간의 상관관계식을 먼저 구하고 여기에 새로 수신된 GMS 위성자료의 TBB 및 ALB를 대입시킴으로써 레이더 강수강도에 준하는 객관적이고 정량적인 위성강수 강도지수를 산출한다.

SP의 정확도를 결정하는 중요한 요소는 시간에 따라 변하는 위성과 레이더와의 상관관계를 SP 추정식에 어떻게 반영하는가이다. 따라서 매시각 레이더 관측영역 (Fig. 2에서 원으로 표시)에서의 위성과 레이더 자료의 상관관계를 매시각 산출하고 그 상관관계를 다음시각에 새로 수신된 광역의 위성자료 (Fig. 2의 전체영역)에 적용한다.

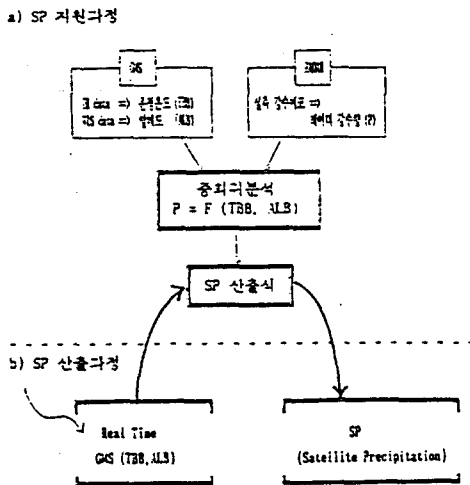


Fig. 1 Scheme for estimation of precipitation intensity by using GMS data.

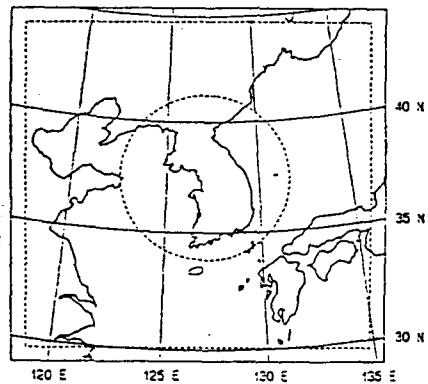


Fig. 2 Region of GMS P-S LOCAL image set (512x512 grid). Inner dotted dotted square represents SP estimation region (472x472 grids), and the circle radar coverage.

### III. 자료

#### 1. 위성자료

GMS 위성자료는 '90년 9월 10일 02, 03 UTC (universal time coordinated)의 적외 및 가시 자료를 이용하였다. GMS 적외자료는 +20 C에서 -100 C 까지의 TBB 범위를 0.5 C 간격으로 나누어 241 등급으로 세분하였고, GMS 가시자료는 0.0 ~ 0.99 까지의 ALB 범위를 0.01 간격의 100 등급으로 나누었다.

위성자료와 레이더 자료를 서로 조합하여 이용하기 위해서는 두 자료의 공간 분해능이 같아야 하기 때문에 GMS 위성의 전구영상에서 일부 분석영역을 분리해 낼 때 4 km 분해능을 갖도록 조절한 GMS P-S LOCAL 영상(Fig. 2)을 추출하였고 위성강수강도지수(SP) 산출자료는 레이더 강수량과 동일하게 0.0에서 96.0 mm/h 이상까지 16개의 강수등급으로 표현하였다.

#### 2. 레이더 자료

레이더 자료는 '90년 9월 10일 0137 UTC의 관악산 레이더 관측자료를 사용하였다. 이 자료는 반경 400 km 영역(Fig. 2)의 PPI (Plan Position Indicator) 관측방법을 사용하여 관측한 강수 에코강도(mm/h)이며 격자 간격은 4 km 이다. 레이더 관측자료인 원시 에코강도는 dBz 단위로써 전파의 반사강도인  $Z$  ( $\text{mm}^6 / \text{m}^3$ )에 상용대수를 취한 값 ( $\text{dBZ} = 10 * \log Z$ ) 이다.

이 dBZ에서 지상의 고정 물체에 의한 지형에코(ground echo)성분을 제거하고(기상연구소, 1990) 아래와 같은 Z-R 관계식 (Z-R relationship)을 사용하여 레이더 강수량을 계산하였다.

### IV. SP 산출방법

위성강수강도지수(SP)는 위성자료를 독립변수로, 레이더자료를 종속변수로 관계다항식을 설정하고 중회귀분석을 실시한 후 이로부터 얻어진 중회귀식 (SP 산출식)에 위성자료를 대입하여 구한다. SP를 구하는 과정은 SP 산출식을 구하는 SP 지원 과정과 이 식에 위성자료를 대입하여 SP를 계산하는 SP 산출과정으로 대별된다 (Fig. 1)

#### 1. SP 지원과정

##### 가. 종별모드

SP 산출 종별 모드는 사용되는 관계 다항식의 종류와 입력자료의 특성에 의해 다음의 4 가지로 구분되며 종별모드 1과 2는 가시자료와 적외자료를 혼용하므로 가시적외 혼합형이라고 종별

모드 3과 4는 적외단독형으로 분류한다.

(1) 종별모드 1 (IR&VIS: VIS SUN CORRECT)

이 방법은 가시적의 두 자료의 사용이 가능한 주간용으로 추정식은 레이더 자료에 대한 위성자료의 3차식으로 다음과 같다.

$$P = a_0 + a_1 \cdot TBB + a_2 \cdot ALB + a_3 \cdot TBB^2 + a_4 \cdot TBB \cdot ALB + a_5 \cdot ALB^2 + a_6 \cdot TBB^3 + a_7 \cdot TBB \cdot ALB^2 + a_8 \cdot TBB^2 \cdot ALB + a_9 \cdot ALB^3$$

여기서 P는 레이더 강수강도 ( 16 단계, mm/h )이고  $a_n$  은 관계 상수이다. 가시반사강도 ALB 는 같은 구름에서도 태양고도에 따라 다르기 때문에 지표면에 입사하는 태양광의 태양고도각에 따른 차이를 보정하며 여기서는 각지점의 태양천정각을  $\theta$  로 할 때 반사강도치를  $\cos \theta$  만큼 나누어 주는 방법을 사용하였다.

(2) 종별모드 2 (IR&VIS : VIS NO CORRECT )

종별모드 2는 종별모드 1과 SP 산출식이 같으며 가시자료를 태양고도각에 대해 보정하지 않고 사용한다.

(3) 종별 모드 3 (IR WITHOUT IR PARAMETER )

종별모드 3은 가시자료를 사용할 수 없는 야간용으로 적외단독형이다. 가시자료를 사용할 수 없기 때문에 종별모드 1의 식에서  $ALB = 0$ 가 된다. 따라서 적외자료에 의해서만 계산된다. 추정식은 다음과 같다.

$$P = b_0 + b_1 \cdot TBB + b_2 \cdot TBB^2 + b_3 \cdot TBB^3$$

여기서  $b_n$ 은 계수이다.

(4) 종별모드 4 (IR WITH IR PARAMETER)

종별모드 4는 개선된 적외단독형 방법으로 야간에 산출된 SP에서 무강수의 권운을 제거하기 위하여 종별모드 3의 추정식에 TBB 평균 및 TBB 분산의 2개 적외파라메타를 추가 사용한 것이다. 추정식은 다음과 같다.

$$P = c_0 + c_1 \cdot TBB + c_2 \cdot TBB^2 + c_3 \cdot TBB^3 + c_4 \cdot TBB_{mn} + c_5 \cdot TBB_{dv}$$

여기서  $TBB_{mn}$  과  $TBB_{dv}$  은 동서 및 남북방향으로 200km 영역내의 TBB 평균과 TBB 분산

이고  $C_n$  은 관계상수이다. 종별모드 3의 적외단독형에서는 적란운과 무강수의 권운이 모두 운정 온도가 낮아서 임의의 한 화소에서 두 종류의 구름이 뚜렷이 구별되지 않고 무강수의 권운이 강수를 포함하는 것으로 잘못 해석되는 경우가 많다. 임의의 화소를 중심으로 주변의 여러개의 화소들을 비교하면 권운의 경우 적란운보다 화소들의 TBB 평균이 높으며 TBB 분산은 적란운보다 낮다. 따라서 화소들의 평균 및 분산을 새로운 적외 파라메타로 추가하면 결과적으로 무강수 권운에서 표현되는 위성강수강도를 약화시키는 역할을 한다.

#### 나. 온도에 따른 층별화

일반적으로 권운형 구름을 제외한 찬 운정온도를 가진 구름이 강수를 가지나 때로는 따뜻한 운정온도를 가진 구름에서도 강수가 있는 경우가 있다. 따라서 위성자료를 이용한 강수강도를 어느 한 산출방정식에 의존하기는 곤란하므로 적외영상의 TBB threshold 에 따라 관측 화소들을 몇 개의 그룹으로 분류한 후 각 그룹에 대하여 별도로 중회귀분석을 수행한다. 이 연구에서는 TBB 가 0 C 보다 높은 화소는 분석에서 제외하였으며 TBB 가 0 ~ -30 C, -30 C 이하의 두 그룹의 화소에 대하여 각각 중회귀분석을 하였다.

#### 다. SP 1차 추정치 보정

위성과 레이더의 중회귀분석으로 SP 산출식이 완성되면 이 식에 위성자료를 대입하여 SP 1차 추정치를 구한다. 즉, 레이더 강수강도 값의 최대값 및 최소값과 이에 대응하는 SP 1차 추정치의 최대값 및 최소값을 각각 대응시켜 두 자료간의 1차 관계식을 구하여 이 1차 관계식의 기울기를 확대율 (magnification rate :a), 절편을 편차(bias :B)라 하고 이들을 SP 1차 추정치 (R)에 적용시켜 다음과 같이 변환 보정하여 최종 SP를 산출한다.

$$SP = a \cdot R + B$$

## 2. SP 산출과정

앞에 기술한 과정으로 4개 SP 산출모드별로 SP 산출에 필요한 추정계수들을 먼저 구한후 이를 참조하여 종별모드에 따라 SP 산출식을 전개하여 이 식에 위성자료를 대입하여 SP를 산출한다. 종별모드 3의 예를 들면 다음과 같다.

여기서  $b_n$ , a, B는 SP 추정계수로부터 참조되는 값이고 TBB 는 위성에서 관측된 적외 휘도 온도이다. 그리고 R은 SP 1차 추정치이며 a, B 는 SP 1차 추정치 보정계수, 그리고 SP가 위성강수강도지수이다.

## V. 결 과

### 1. 사 례

1990년 9월 10일 호우사례를 선정하여 강수강도지수(SP)를 산출하였다. 이 날 일강수량이 수원에 276.3 mm를 비롯한 중부 대부분 지역에 120 mm 이상을 기록하는 집중호우가 있었다

다음 Fig. 3과 4는 각각 1990년 9월 10일 03 UTC 의 GMS 위성의 적외영상과 가시영상이다. Fig. 5는 위성자료와 같은 시각에 관측된 레이더 강수강도 분포도이고 Fig. 6은 한시간 누적 강수량 분포도이다. Fig. 3과 4는 위성영상에서 보면 서해와 한반도 전역, 그리고 동해북부에 걸쳐 폭넓게 발달된 적란운역이 자리잡고 있다. Fig. 5의 레이더 강수량 분포를 보면 역시 서해와 중부지방을 중심으로 최대 8~16mm/h 의 강수에코가 탐지되었다. Fig. 6의 관측 강수량에서는 중부지방에 레이더 강수량과 유사한 14.5 mm/h 의 강수가 관측되었다.

### 2. SP 산출결과

1990년 9월 10일 02 UTC 의 위성자료와 레이더 자료를 이용하여 SP 추정계수를 산출한 결과 레이더 강수강도와 SP의 상관관계수 (COR3)는 SP 산출모드 1, 2, 3, 4에 대해 각각 0.725, 0.693, 0.627, 0.647 였고 회귀분석에 사용된 화소의 수는 4개 모드에서 모드 20081 개 였다. 가시 적외 병용형인 SP 산출모드 1, 2 가 적외 단독형 SP 산출모드 3, 4 보다 상관도가 높았고 가시적외 혼합형에서는 적외자료를 태양고도각에 대해 보정한 SP 산출모드 1이 SP 산출모드 2보다 그리고 적외단독형에서는 적외파라메타를 추가한 SP 산출모드 4가 SP 산출모드 3보다 각각 상관도가 높았다. 여기에 제시하지 않았으나 레이더 강수량과 SP 사이의 관계를 나타내는 scatter diagram에서의 분포는 선상의 배열보다는 삼각형 구조를 보여 두 자료간의 비례관계가 뚜렷하게 나타나지는 않았다.

레이더와 위성자료의 회귀분석에 의해 SP산출식의 계수들이 결정되면 그 다음 시간에 새로 수신되는 위성자료에 즉시 적용하여 실시간적으로 SP를 산출할 수 있다. Fig. 7 ~ 10은 1990년 9월 10일 02 UTC 의 위성자료로부터 4가지 SP 종별모드별로 위성강수강도지수를 산출하여 6개의 칼라 등급으로 표현한 것이다. 그림에서 보면 전반적으로 Fig. 3, 4의 GMS 영상의 구름 패턴과 유사한 형태를 나타내고 있다.

종별모드 1 (Fig. 7)에서는 중부지방에 4 ~ 8 mm/h 이상의 강수강도를 보이는데 Fig. 5의 실측 강수량과 비교해 보면 비슷한 크기의 강수강도를 보여주고 있으며 종별모드 2 (Fig. 8)에서는 강수가 2배 정도 강하게 표현되었다.

종별모드 3 (Fig. 9)은 적외영상과 매우 유사한 패턴을 보이고 구름의 북쪽 경계부근의 무강수 권운에서도 0 ~ 4 mm/h의 강수가 분석되었다. 적외 파라메타를 추가한 종별모드 4 (Fig. 10)에서는 종별모드 3에서 보다 매우 평활화된 분포를 보이며 발달된 운역 북쪽의 권운역의 강수강도는 무강수 또는 0 ~ 1 mm/h 로 매우 약하게 나타나므로 적외 파라메타를 사용한 효과가 있

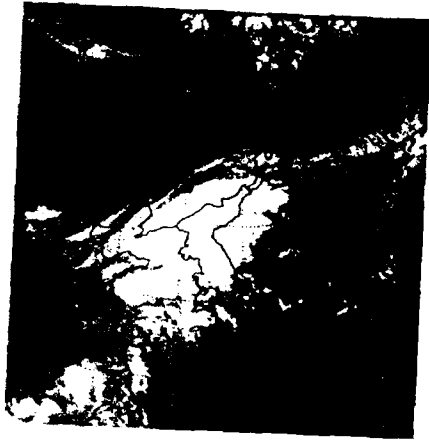


Fig. 3 Infrared image of GMS for 03 UTC 10 Sep. 1990

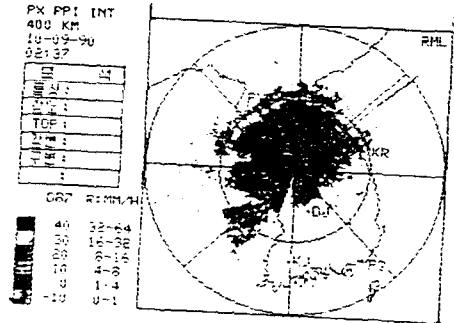


Fig. 5 PPI(Plan Position Indicator) type radar echo intensity, concurrent to Fig. 3. the dBZ unit is related to the reflecting factor  $Z(\text{mm}^6/\text{m}^3)$  and  $R(\text{mm}/\text{h})$  is the rate of rainfall in Z-R relationship.

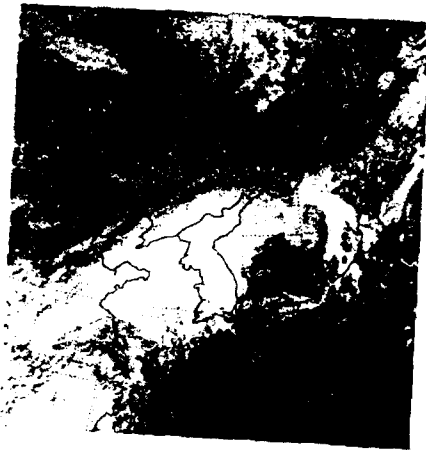


Fig. 4 The same as Fig. 3 except for visible

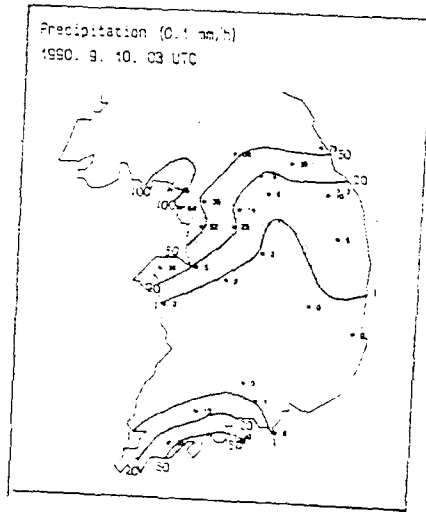


Fig. 6 Distribution of hourly observed precipitation (0.1 mm/h) at 03 UTC 10 Sep. 1990

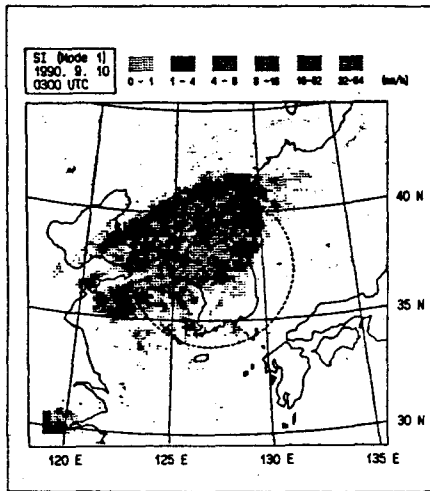


Fig. 7 SP map using bi-spectrum method (processing mode 1) at 03 UTC 10 Sep. 1990

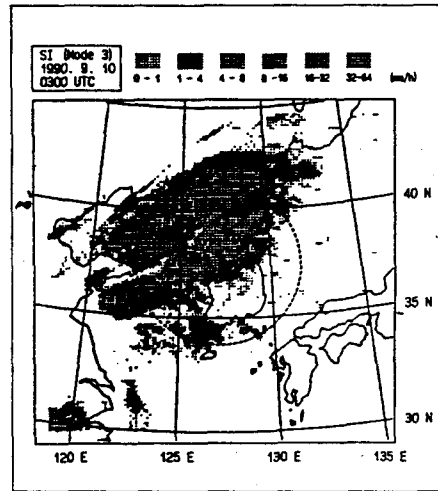


Fig. 9 SP map using mono-spectrum method (processing mode 3) at 03 UTC 10 Sep. 1990

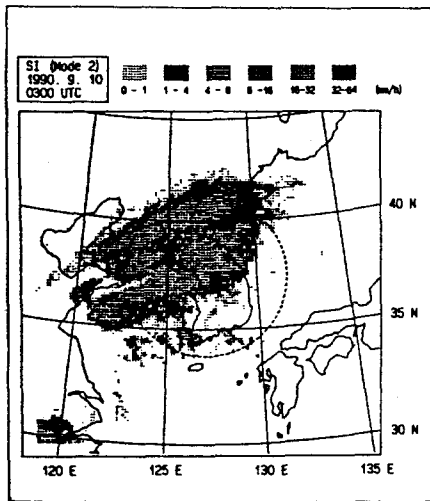


Fig. 8 The same as Fig. 7 except for processing mode 2.

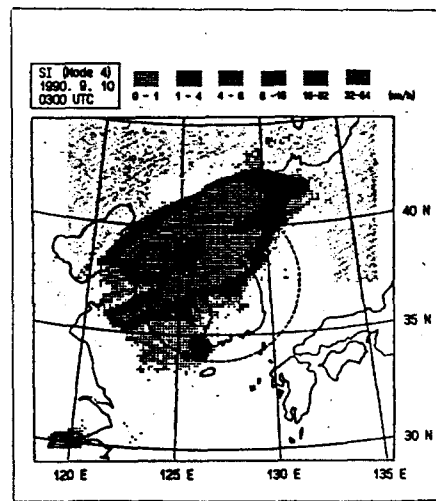


Fig. 10 The same as Fig. 9 except for processing mode 4.



음을 알 수 있다. 종별모드 3과 종별모드 4에서 강수는 모두 실측 강수량보다는 2배 정도 크게 표현되었다.

이상의 결과에서 보면 SP는 종별모드 2, 3, 4에서 과대평가되는 경향을 보였다. SP의 분포는 SP산출식의 계수들에 의해 결정되지만 SP값의 대소는 SP 1차 추정치의 확대율에 의해 좌우되므로 확대율 결정 방법을 개선하고 레이더 강수량 결정에 관련된 전처리과정을 보완하면 SP의 과대 평가를 방지할 수 있을 것으로 사료되며 이에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

## VI. 결 론

일본 기상청에서 1988년 3월부터 현업으로 사용하고 있는 위성강수강도지수(SP) 기법을 1990년 9월 10일 호우사례에 대하여 적용하였다. 그 결과 위성의 가시자료와 적외자료를 혼용한 경우가 적외자료만을 사용한 경우보다 레이더 강수량과의 상관도가 높았다.

SP는 4가지 산출모드에서 대체로 구름의 발달 강도와 유사한 패턴을 보였다. 산출모드 1(가시적의 혼합형, 태양고도각 보정)의 경우에는 레이더 강수강도와 비슷한 강도로 가장 좋은 결과를 보였고 산출모드 2, 3, 4에서는 약 2배 정도 강하게 표현되었다.

이번 연구에서는 필요한 자료의 취득에 어려움이 있어서 사례 선정이 매우 제한적이었기 때문에 하나의 사례에 대해서만 SP를 산출하였고 우선적으로는 SP 산출 프로그램의 개발 및 테스트에 일차 목표를 두었다. 이 연구는 향후 SP 산출 알고리즘 개선, 다양한 사례에 대한 강우형 태별 정확도 검증, 정량적인 정확도 평가방법의 도입 등을 수행하여 궁극적으로는 한국형 SP 기법 개발 및 기상예보 활용을 목적으로 계속 추진될 것이다.

## VII. 참 고 문 헌

- 기상연구소, 1990 : 레이더를 이용한 단시간 강우예측 결과의 정성 및 정량적인 평가 ( I )
- 기상연구소, 1991 : 레이더를 이용한 단시간 강우예측 결과의 정성 및 정량적인 평가 ( II )
- Osano, S., T. Motoki and K. Suzuki(1988): An estimation of precipitation intensity potential from GMS data by using digital radar echo intensity data. Geophys. Mag., 42, 173 - 190.