

# 초단기 예측 모형 MAPLE 자료의 정확성 검토 -2008년 7월과 2009년 7월 집중호우 사례-



**김 보 경 |**

노아솔루션 기술연구소 대리  
winnerbk@noaa.co.kr



**장 대 원 |**

노아솔루션 기술연구소 과장  
hydrojdw@noaa.co.kr



**양 동 민 |**

노아솔루션 기술연구소 소장  
ydm@noaa.co.kr



**유 철 상 |**

고려대학교 건축사회환경공학과 교수  
envchul@korea.ac.kr

빈도가 높아지는 등 뚜렷한 강우패턴 변화를 보여 주고 있다. 특히, 최근에는 좁은 지역에서도 기상 이 다른 국지성 형태의 호우가 빈번하게 나타나면서 이에 대한 관심이 증대되고 있다. 국지성 집중호우란, 일반적으로 단시간에 평균 10~20km의 영역에 집중적으로 쏟아지는 강우이며 보통 강우량이 30mm/hr 이상, 10mm/day 이상인 호우로(김수영 등, 2004) 정확한 예측을 통한 예보나 대응방안을 마련 하는데 상당한 어려움을 겪게 된다. 작년 여름철 경북 봉화군에 발생한 호우는 심각한 국지성 집중호우를 대표하는 예로 기상청 관측망에서조차 정확한 관측이 이루어지지 않았다(국립방재연구소, 2008). 따라서 어떤 지역에서 얼마나 많은 양의 강우가 언제까지 지속될 것인가를 예측하여 강우량과 예상 지속시간 등 기상 관측에 대한 개선 방안을 마련할 필요가 있다고 볼 수 있다. 현재 국내외에서는 강우의 시공간적 분포를 보다 정확하게 파악하기 위하여 레이더를 활용하고 있는데 이는 일시적인 강우 관측만으로는 단기성·국지성 특성을 갖는 대류성 호우를 평가하기에 무리가 있기 때문이다. 강우레이더는 어느 지역에 얼마나 정확한 강우량(볼륨)이 내렸는지에 대한 정보를 제공하는 것이 아니라 각 지역에 상대적으로 얼마만큼의 강우가 내렸는지를 제공함으로써 레이더 강우의 공간적 변동에 대한 정보를 제공할 수 있다(김병식 등, 2006).

강우의 공간적 분포를 설명할 수 있는 레이더가

## 1. 서론

기후변화로 이상기상현상이 나타나면서 시기나 양적인 측면에서 대부분 장마기간에 국한되었던 강우집중현상이 과거와는 달리 특정기간에 상관없이 발생하고 단기성, 국지성 특성을 지닌 호우의 발생

도입되면서 강우레이더의 시공간적 분포와 정량적 분석에 관한 연구가 진행되고 있다. 또한, 단기성과 국지성 특성을 지닌 호우의 출현빈도가 높아짐에 따라 레이더 강우량 예측기법으로부터 실시간 예측 자료를 활용하기 위한 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 현재, 국내에서 독자적으로 개발된 모형은 없는 실정으로(건설교통부, 2007a, b) 기상청에서는 초단기 강우예측을 위하여 일본 기상청의 현업 모형인 VSRF 모형을 활용하여 6시간 강수를 예측하고 있다. 이 외에도 미국 기상청, 국립호우연구소와 국립대기연구센터에서 공동 개발한 SCAN 모형, 미국 NCAR에서 개발한 VDRAS 모형과 캐나다 맥길 대학교 개발한 MAPLE 모형에 대한 검토 및 시험 운영을 실시하고 있다.

초단기 강우예측 자료의 활용여부를 평가하기에 앞서 예측된 자료의 정확성을 검토할 필요가 있다. 최지혜 등(2006)은 고양시에 발생한 2006년 여름철(6월~8월) 집중호우 사상에 VSRF 예측 자료를 적용하여 집중호우 1~2시간 전에 위험지역 예측이 비교적 우수함을 검토하였다. 이정순 등(2007)은 SCAN 모형을 이용하여 2007년 7월 집중호우에 대한 강우의 예측성을 검토하여 이 모형이 구름의 발달과 소멸을 예측하기에 어려움이 있으나 여러 약기상 지수들을 통해 발달 가능성을 간접적으로 예측할 수 있다고 하였다. 현재, MAPLE 모형은 국내에서 시험운영 중으로 자료 정확성에 대한 검토가 이루어지지 않은 상태이다. 이에 본 연구에서는 최근 기법을 적용한 MAPLE 모형을 간략히 소개하고 관측 및 예측 자료에 대한 정확성을 검토하고자 하였다.

## 2. 단기에보와 초단기 예보

현재 국내에서는 정확한 강우예측을 위하여 수치 모형, 기상레이더, 위성 및 통계적 기법 등이 활용되고 있으며 기상청(KMA, Korea Meteorological

Administration)에서는 여러 방법들의 근간이 되는 수치예보모형을 적용, 운영하고 있다. 기상청은 1999년 하루 24시간을 6시간 간격으로 4등분한 6시간 예보를 도입하여 시행하고 있으며 이를 위하여 전 지구 예보 모형인 GDAPS(Global Data Assimilation and Prediction System)와 지역예보 모형인 RDAPS(Regional Data Assimilation and Prediction System)자료를 활용한다. 그러나 국지성, 단기성 돌발 형태로 강우패턴이 변화하면서 단기간 강우예측의 중요성이 강조되고 있는 현시점에서는 재해발생에 대하여 시간적 여유를 두고 적절하게 대응할 필요가 있다. 그리고 이를 위하여 기존의 6시간 예보보다 예보시간을 세분화한 3시간 예보와 같은 새로운 개념의 실태예보(nowcasting)를 도입이 요구되는 바, 현재 이러한 연구가 진행되고 있다(이종국, 2001). 여기서, 실태예보란, 현재의 일기실태를 바탕으로 6시간 이내로 연장하는 가장 가까운 장래의 일기를 예보하는 것으로 설명한다(정성훈 등, 2007)

한편, 기상학 용어사전에서 ‘단기예보’는 short-range (weather) forecast로 영역되고 있으나 ‘초단기 예보’에 대한 용어는 정의되어 있지 않은 상태이다. 국립기상연구소(2007)는 현재, 그 정의가 모호한 단기예보와 초단기예보에 대한 구분이 명확하게 이루어져야 한다고 하였으며 이에 본 연구에서는 단기예보와 초단기예보를 설명하고 국내 현업에 활용되고 있거나 이를 목적으로 시험 운영되고 있는 단기와 초단기예보 종류와 그 특성에 대하여 정리하였다(표 1).

일반적으로 단기예보는 수치모형을 사용한 수치예보로써 예보시작 후 약 6시간 이후부터 약 48시간까지의 예측을 의미하고 초단기예보는 예보시작 후 0~6시간까지를 의미한다. 초단기예보는 단기예보와는 달리 다양한 방법이 적용되어 그 방법에 대하여는 규정하지 않는 것이 바람직하며 초단기라는 용어는 시간규모가 6시간 이내인 현상에 대하여만 적용하는 것이 바람직하다(국립기상연구소, 2007).

## 학술/기술기사

표 1은 국내에서 활용 중이거나 연구 진행 중인 단기와 초단기예보 종류와 그 특성을 정리한 것이다. 지역규모의 전지구모델을 사용하는 단기예보로 RDAPS와 KLAPS가 있으며 초단기예보로는 VSRF, SCAN, VDRAS와 MAPLE이 있다.

기상청에서는 현재 초단기 강우예측을 위하여 지속성 강수 개념을 기초로 강수이동패턴이 6시간 동안 지속된다는 가정 하에 현재 강수량 패턴을 이동시키고 지형 효과 등을 보정하여 강수량을 예측하는 VSRF 모델을 활용하고 있다(고익환 등, 2007). 이 예측 모형은 일본 기상청 현업 모형으로 국내 여러 사례에 적용하여 정확성이 검토되었으나 구름 물리 과정을 포함하지 않아 비구름 발달과 소멸 예측에 약하고 지역규모의 전지구모델과의 연계가 요구된다. SCAN 모형은 많은 자료를 실시간으로 감시하여 현 상황정보를 제공하여 위험 가능성을 알려주는 역할을 하고 있으나 주의보, 경보 발효시각과 해제시각에 대한 정보 제공을 지원하지 않는다. VDRAS 모형은 레이더 자료 동화 연구를 위하여 개발되었으나 현재는 실시간 예보를 지원으로 사용되고 있다(Sun과 Crook, 2001). 그러나 지도 투영 및 지형효과가 고려되지 않고 다른 초단기 예측모형에 비하여 계산량이 많다는 단점이 있다(국립기

상연구소, 2007; 국립방재연구소, 2009). MAPLE 모형은 국립기상연구소 예보연구팀에서 2008년 6월부터 시험운영하고 있는 모형으로 단시간 강우예측시 레이더 자료만을 이용한 부분 외삽법(Fractional extrapolation)을 적용하여 그 활용성이 높은 것으로 분석되고 있다(이희춘, 2008). 이러한 내용에 따라 본 연구에서는 최근 기법을 적용한 초단기강우예측 모형으로 MAPLE 모형을 선정하고 MAPLE 모형의 관측 및 예측강우에 대한 정확성을 검토하였다. 현재 국내에서는 독자적인 단기 강우예측 모형은 개발되지 않은 상태로 국외의 단기 및 초단기 강우예측 기술을 도입하여 운영하고 있는 실정이며 표 1에 정리한 각 모형과 그 국외에서 적용, 운용되고 있는 모형에 대하여는 건설교통부(2007a, b), 국립기상연구소(2007)와 국립방재연구소(2009)를 참고할 수 있다.

### 3. 초단기 예측 모형 MAPLE

#### 3.1 개요

캐나다 맥길대학교에서 개발한 강수예측알고리즘

표 1. 단기예보와 초단기예보의 구분 및 특성 비교

목 적	단기예보		초단기예보			
	RDAPS (동네예보)	KLAPS	VSRF	SCAN	VDRAS	MAPLE
구 분	Regional Data Assimilation and Prediction System	Korea Local Analysis and Prediction System	Very Short Range Forecasting	System for Convection Analysis and Nowcasting	Variation Doppler Radar Analysis System	McGill Algorithm for Precipitation Nowcasting by Lagrangian Extrapolation
방법론	지역규모의 전지구모델	지역규모의 전지구모델	단순외삽법 적용	대류성 호우 추적 및 예측	바람장의 추정을 통한 예코의 이류 파악	예코의 이류에 라그랑지안 이류법 적용
활용시기	현재	2010년	현재	현재가능	2011년	현재가능
예보시간	0~48시간 (3시간예보)	0~48시간	0~6시간	0~1시간	0~6시간	0~6시간 (매10분마다)
해상도	30km	5km	2.5km	5km	4km	1km
적용성	적용중	검토중	지역규모의 전지구 모델과의 연계		검토중	단독사용 가능

의 MAPLE(McGill Algorithm for Precipitation nowcasting and Lagrangian Extrapolation)은 현재와 과거시간(예를 들어, 10분 또는 20분)의 레이더 영상 차이를 통하여 강수예코의 이동벡터를 산출하는 변분예코 추적기법을 이용하고 있으며 라그랑지 연속성(Lagrangian persistence)에 기반을 두고 수 시간 이내의 강수 예코 위치에 대한 예측 정보를 제공한다. 여기서 변분예코 추적기법(Variational Echo Tracking, VET)은 레이더 강수의 예코뿐만 아니라 위성 영상 등 시간에 따라 이동하는 모든 영상에 적용할 수 있다. 또한, 강수 예코 위치에 대한 예측 정보를 제공하는 라그랑지 연속성은 현재까지 강우패턴의 단기예측을 위한 최적의 방법으로 알려져 있으며 0~6시간 범위에 대한 수치모델의 기술은 다른 방법을 적용한 실험예보보다 더 좋은 결과를 보이는 것으로 나타났다(건설교통부, 2007b). 이들 각 방법에 대한 자세한 설명은 Chareles 등(2005)과 임진강 강우레이더 시스템 최적화 연구용역(건설교통부, 2007a)을 참고할 수 있다.

### 3.2 MAPLE 자료의 구조

MAPLE 자료는 크게 강수장과 바람장으로 구성되며 강수장에는 BASE, QC\_PPI, QC\_CAPPI(이하 CAPPI), CMAX, RAR와 MERGE가 포함되고 바람장에는 바람장헤더와 바람장으로 이루어진다. 여기서, QC\_PPI는 임의의 고도에서 수평방향으로 스캔하여 수신된 예코자료로 수평관측결과이며 QC\_CAPPI는 PPI(Volume 관측)에 대하여 일정한 고도(1.5km)의 수평자료를 추출한 자료를 의미한다. CMAX는 PPI자료의 각 고도에서 가장 강한 예코만 표출한 자료, RAR은 관측강우와 보정된 CAPPI 자료이며 BASE는 가장 낮은 고도에서의 예코가 나타난 최하층에 대한 자료로 1.5km에서 나타나지 않는 자료를 표출할 수 있다. MERGE는 QC\_CAPPI, CMAX, BASE와 AC\_PPI 4개의 레

이더 반사도값을 평균한 자료이며 이에 대한 자세한 설명은 Zawadski 등(2007)을 참고할 수 있다. 현재, 기상청에서는 강수장에서 CMAX, CAPPI, MERGE와 바람장을 제공하고 있다. 본 연구에서는 MAPLE에서 생성, 기상청에서 제공되는 자료들 중 CAPPI 20을 활용하고자 한다. 이 자료는 10분 단위로 갱신되고 6시간 선행 예측과 10분 간격의 관측을 실시한다. 이들의 단일 격자 크기는  $1\text{km} \times 1\text{km}$ 이며, 예보영역  $1,024\text{km} \times 1,024\text{km}$ 의 격자체계를 갖추고 있으며 바람장의 격자 크기는  $32\text{km} \times 32\text{km}$ 이며 예보영역은  $800\text{km} \times 800\text{km}$  격자구조로 이루어져 있다(국립기상연구소, 2009). 현재 기상청 MAPLE 자료에는 바람 속성이 포함되어 있으나 본 연구에서는 강수장에 대한 정확성만을 검토하기로 한다.

## 4. MAPLE 자료의 정확성 검토를 위한 연구 개요

### 4.1 연구순서

국립기상연구소 예보연구팀에서 2008년 6월부터 시험운영하고 있는 MAPLE 모형은 기상청 종합기상정보시스템을 통하여 매 10분마다 예보관들에게 6시간 이내의 초단기 예측을 위한 정보를 제공하고 있다. 이 자료는 특히, 3시간 이내에서 높은 예측성을 가지는 것으로 분석되고 있다(이희춘, 2008). 그러나 예측에는 항상 오차가 발생하므로(장석곤, 2002) 실측강우와의 비교를 통한 검토가 이루어져야 할 것이다. 여기서, 실측강우는 분석대상지역 각각에 위치한 기상청 AWS 및 지자체 강우계의 자료를 의미한다.

MAPLE 자료는 격자단위로 제공되며 각 셀마다 예측값을 가지고 있다. 본 연구에서는 자료의 정확성 검토를 위하여 기상청 AWS와 지자체 강우관측소를 이용하여 각 관측소와 일치하는 격자를 추출

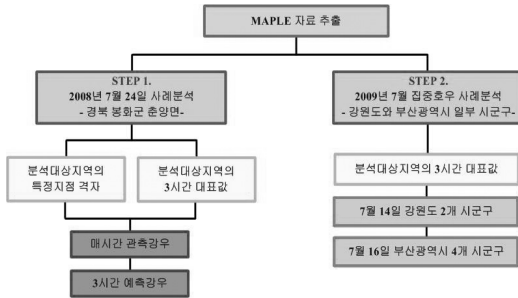


그림 1. MAPLE 자료 정확성 검토를 위한 흐름도

하여 자료의 정확성을 검토하였다. 이와 함께 강우 특성에 따른 정확성을 검토하기 위하여 강우를 일반적인 발생 패턴을 보이는 강우와 최근 급증하고 있는 게릴라성의 국지적 돌발강우로 구분하여 적용하였다. 이에 따라 본 연구에서는 그림 1에 나타난 것과 같이 STEP 1과 STEP 2로 구분하여 MAPLE 3시간 예측 강우의 정확성을 검토하였다.

STEP 1에서는 2008년 7월 24일 심각한 국지성 집중호우가 발생하였던 경북 봉화군 춘양면을 대상으로 기상청 AWS 봉화지점과 지자체 관측소인 춘양면사무소, 참새골, 주실령과 도래기재와 일치하는 격자값을 비교하였다. 그러나 시공간 변화에 따른 강우의 특성상 특정 지점 격자의 비교만으로는 무리가 있으므로 춘양면 전체에 포함되는 MAPLE 격자값을 대상으로 가장 큰 값과 평균값을 추출하여 이들을 경북 봉화군 춘양면의 대표값으로 채택하였으며 이를 정리하면 다음과 같다. MAPLE 자료에 대하여 ① 기상청 AWS 지점과 각 지자체 위치에 해당하는 격자값(특정 지점 격자)과 ② 춘양면이 포함된 MAPLE 예측강우의 격자값들 중 최대와 평균 격자값(대표 격자)을 추출하고, 이들을 각 기관별 강우계의 실측강우와 비교하였다. 이 때, 분석 기간은 2008년 7월 24일 20시부터 25일 13시이며 춘양면에 위치한 각 강우계 현황은 그림 2와 표 2를 참고할 수 있다.

STEP 2에서는 2009년 7월 집중호우를 대상으로 강원도와 부산광역시에 대한 분석을 실시하였다. 강원도 철원군과 화천군에 대하여는 7월 14일

강우사상을, 부산광역시 중구, 동래구, 해운대구와 기장군에 대하여는 7월 16일 강우사상을 적용하였는데 이들 강우사상은 각각 일반적이고 지속적인 강우와 돌발성 강우특성으로 구분할 수 있다.

## 4.2 MAPLE 수신 자료

본 연구에서는 2008년 경북 봉화군에서 발생한 집중호우와 MAPLE 예측강우를 비교하기 위하여 이 시기에 강우가 특히 집중되었던 2008년 7월 24일 20시부터 25일 13시까지 기상청에서 제공하는 MAPLE 자료를 수신하였다. 이로부터 우리나라 전역에 대하여 MAPLE 자료에서 10분단위로 갱신되는 관측강우의 분포현황이 시간에 따라 그 형상이 변화하고 있음을 확인할 수 있었다.

## 5. 2008년 7월 집중호우 분석

본 절에서는 라그랑지 연속성(Lagrangian persistence)에 근간을 둔 MAPLE 자료의 정확성을 검토하기 위하여 경북 봉화군을 선정하였다. 국립방재연구소(2008)의 '7.23~26 경북 봉화군 호우피해 현장조사 결과 및 대책'에 따르면 2008년 경북 봉화군은 물야면, 춘양면, 소천면과 석포면 대부분에서 국지성 집중호우로 인하여 큰 피해를 입은 것으로 확인되었다. 방재연구소의 현장조사 결과 및 대책보고서에 따르면 이 시기에 발생한 호우는 기상청의 조밀한 기상 관측망에도 위험을 예보하기에 곤란할 정도의 심각한 국지성 호우로 기상청 AWS에서 관측에 어려움이 있었음을 언급하였으며, 결과적으로 이 시기에는 기상청 AWS와 읍면동 강우기록자료보다 자동우량경보 자료의 설명력이 강하였다고 설명하였다. 이에 따라 본 연구에서는 기상청 AWS, 면사무소와 자동우량경보계가 위치한 춘양면(봉화/춘양면사무소/참새골, 주실령, 도래기재)을 대상으로 MAPLE 예측강우의 정확성

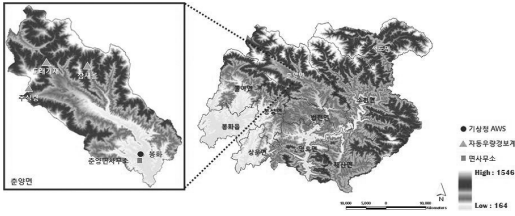


그림 2. MAPLE 자료의 강우예측 정확성 검증을 위한 지역 선정

을 검증하고자 하였다. 단, 기상청 AWS 석포 지점이 위치한 석포면의 경우, 2008년 7월 25일 04시부터 관측이 누락되었으며, 이에 자료의 정확도 검증에 적합하지 않을 것으로 판단하여 춘양면을 연구 대상 지역으로 선정하였다.

그림 2는 본 연구에서 선정 한 대상구역이며 MAPLE 예측강우와 실측치와의 비교를 위하여 시·도별 시·군·구별로 단위를 구분하였다. 춘양면에는 기상청 AWS인 봉화지점, 춘양면사무소와 자동우량경보계로 참새골, 주실령과 도래기재가 위치하고 있다(표 2).

표 2. 대상지역의 강우관측소 현황

구 분	AWS	면사무소	자동우량경보계
춘양면	봉화	춘양면	참새골, 주실령, 도래기재
	1개소	1개소	3개소

## 5.1 특정 지점 격자와 기관별 실측강우의 비교

### 5.1.1 매시간 관측강우와의 비교

MAPLE 자료의 관측률에 대한 정확성을 검토하기 위하여 경북 봉화군 춘양면에 위치한 기상청 AWS 봉화관측소, 춘양면사무소와 자동우량경보계인 참새골, 주실령과 도래기재와 각각 일치하는 격자값을 추출하였다. 그리고 이들 각각에 대한 상관성을 분석한 결과, MAPLE 관측강우 대비 기상청 AWS와 춘양면사무소는 상관계수가 0.8이상으로 강우 증감에 따른 패턴을 잘 재현하는 결과를 보였다. 그러나 양적인 측면에서는 기상청 AWS와 춘양면사무소가 MAPLE 관측강우보다 약 2.8~3.6배

더 큰 것으로 관측되었다.

한편, MAPLE 관측강우와 자동우량경보계의 상관성을 분석한 결과에 따르면 참새골, 주실령, 도래기재 순으로 상관계수가 높게 나타나는 결과를 보였다. 그러나 이들은 기상청 AWS와 춘양면사무소와의 상관계수보다는 낮은 것으로 나타났다.

### 5.1.2 3시간 예측강우와의 비교

초단기 예측 모형으로 3시간 이내에서의 예측이 우수한 것으로 알려진 MAPLE 예측강우의 정확성을 검토하기 위하여 봉화관측소와 일치하는 MAPLE 3시간 예측강우의 격자값과 기관별 강우 기록과의 상관성 분석을 실시하였다. 그 결과, 앞서 관측강우와는 달리 기상청 AWS와 춘양면사무소의 상관계수가 대략 0.36으로 급격히 감소하였으며, 자동우량경보계인 참새골, 주실령과 도래기재의 상관계수 또한 0.44~0.50으로 대부분 크게 감소하는 것으로 나타났다(표 3). 이는 강우의 시공간적 이동으로 설명할 수 있다. 한편, 양적인 면에서는 표 3에 나타난 것과 같이 기관에 따라 약 4.2배의 차이를 보이며 실제보다 과소추정이 되는 결과를 보였다. 그러나 이와 같은 결과는 기상청 AWS, 춘양면사무소와 자동우량경보계인 참새골, 주실령과 도래기재와 일치하는 특정 지점에서의 격자값을 이용하였기 때문이며 이러한 점으로 미루어 볼 때 대상지역을 대표할 수 있는 격자값과의 비교가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이에 따라 5.2.2절에서는 대상지역이 포함된 MAPLE 격자값 중 가장 큰 값과 평균값을 대표값으로 설정하여 실제 기관별 강우 기록과 비교를 실시하였다.

## 5.2 분석 대상지역의 3시간 대표값과 기관별 실측강우의 비교

### 5.2.1 매시간 관측강우와의 비교

본 절에서는 경북 봉화군 춘양면에 대한 MAPLE 매시간 관측강우를 대상으로 최대값과 평

표 3. 특정 지점 격자의 MAPLE 3시간 예측강우와 기관별 실측강우의 상관분석

구분 (2008)	AWS		춘양면사무소		참새골		주실령		도래기재	
	MAPLE	OBS	MAPLE	OBS	MAPLE	OBS	MAPLE	OBS	MAPLE	OBS
0724 20:00	3.31	26.50	2.34	25.00	16.74	28.00	11.29	17.00	12.46	30.00
0724 21:00	2.41	0.50	0.36	0.50	2.05	35.00	8.32	22.00	3.79	31.00
0724 22:00	0.00	2.00	0.00	1.50	2.31	4.00	2.22	2.00	0.00	5.00
0724 23:00	1.15	1.50	0.00	1.50	2.98	3.00	2.69	3.00	7.49	2.00
0725 00:00	2.52	0.50	1.85	0.50	18.23	41.00	4.21	40.00	3.09	18.00
0725 01:00	17.74	6.00	11.52	4.00	15.33	54.00	11.53	56.00	14.37	29.00
0725 02:00	13.32	33.00	15.21	30.00	1.32	62.00	4.54	46.00	1.92	29.00
0725 03:00	6.49	28.50	8.63	36.50	10.27	12.00	5.54	27.00	9.99	8.00
0725 04:00	1.85	23.50	1.91	30.50	5.29	31.00	7.05	33.00	5.80	36.00
0725 05:00	2.82	7.50	2.97	15.00	0.65	35.00	0.84	22.00	0.84	22.00
0725 06:00	7.39	27.50	8.41	32.00	0.15	7.00	0.00	7.00	0.00	8.00
0725 07:00	0.00	5.00	0.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0725 08:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	1.00	0.13	0.00
0725 09:00	5.84	10.00	4.86	11.00	4.06	23.00	2.90	23.00	1.15	18.00
0725 10:00	3.28	38.00	2.90	43.50	3.72	14.00	4.12	11.00	3.83	16.00
0725 11:00	6.65	9.50	8.76	10.00	2.01	7.00	12.66	9.00	2.61	9.00
0725 12:00	1.40	8.00	1.70	9.50	0.40	10.00	0.37	8.00	0.46	10.00
0725 13:00	0.00	0.50	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SUM	76.17	228.00	71.42	260.50	85.51	366.00	78.68	327.00	67.93	271.00
CORRELATION	0.36		0.44		0.48		0.50		0.46	

균값을 추출하여 이를 대표값으로 설정하였다. 그리고 관측강우에 대한 대표값(최대값과 평균값)을 봉화관측소, 춘양면사무소, 참새골, 주실령과 도래기재 강우 기록과 상관성 분석을 실시하였다. 결과에 따르면, 봉화관측소와 춘양면사무소는 최대값과 평균값에 대하여 최소 0.16에서 최대 0.36의 상관성을 보인 반면, 자동우량경보계인 참새골, 주실령과 도래기재는 최소 0.73에서 최대 0.82의 높은 상관성을 보이는 것으로 나타났다. 이는 대상지역내 강우 최대값들이 실제 많은 양이 집중되었던 강우의 경향성을 대체적으로 잘 재현한 것으로 볼 수 있다. 단, 지면관계상 관측강우에 대한 결과는 생략하였다.

양적인 측면에서 보면 최대값을 대표값으로 한 경우, 실제 강우 기록의 총량과 유사하였으나 평균값을 대표값으로 한 경우에는 약 3.8배 정도 작은 값을 가지는 것으로 나타나 차이를 보였다. 이는 국지적 양상을 가진 강우의 특성에 따른 결과의 일부

로 해석할 수 있다. 일반적으로 레이더 강우는 지점 강우와는 달리 강우의 양과 집중도에 대한 정확성이 낮다고 알려져 있으며, 본 연구의 분석 결과도 이와 유사하게 나타났다. 따라서 레이더 강우를 이용한 MAPLE 예측강우의 활용에 있어서는 반드시 지점강우와의 보정이 이루어져야 할 것이다.

### 5.2.2 3시간 예측강우와의 비교

대상지역에 대한 MAPLE 3시간 예측강우의 최대값과 평균값을 추출하여 이를 대표값으로 보고 봉화관측소, 춘양면사무소와 자동우량경보계에 의한 실측치와 비교분석을 실시하였다. MAPLE 3시간 예측강우(대표값)와의 상관성을 분석한 결과, 앞서 관측강우의 결과보다는 상관성이 다소 낮았으나 특정 지점 격자와는 달리 대표값을 이용하는 경우, 실제 관측치를 MAPLE 관측강우와 예측강우와 상관성 분석한 결과에 큰 차이를 보이지 않았다(그림 3과 표 4).

표 4. MAPLE 3시간 예측강우의 대표값과 기관별 실측강우의 상관분석

구분 (2008)	MAPLE 예측강우		AWS	춘양 면사무소	참새골	주실령	도래기재
	MAX	MEAN					
0724 20:00	21.89	9.74	26.50	25.00	28.00	17.00	30.00
0724 21:00	8.32	2.53	0.50	0.50	35.00	22.00	31.00
0724 22:00	3.90	0.54	2.00	1.50	4.00	2.00	5.00
0724 23:00	11.07	3.18	1.50	1.50	3.00	3.00	2.00
0725 00:00	29.67	9.54	0.50	0.50	41.00	40.00	18.00
0725 01:00	18.83	10.67	6.00	4.00	54.00	56.00	29.00
0725 02:00	22.30	6.69	33.00	30.00	62.00	46.00	29.00
0725 03:00	11.53	5.20	28.50	36.50	12.00	27.00	8.00
0725 04:00	8.98	4.15	23.50	30.50	31.00	33.00	36.00
0725 05:00	6.48	1.60	7.50	15.00	35.00	22.00	22.00
0725 06:00	15.38	2.76	27.50	32.00	7.00	7.00	8.00
0725 07:00	0.00	0.00	5.00	8.50	0.00	0.00	0.00
0725 08:00	0.52	0.06	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
0725 09:00	11.35	4.14	10.00	11.00	23.00	23.00	18.00
0725 10:00	6.05	3.76	38.00	43.50	14.00	11.00	16.00
0725 11:00	20.43	5.01	9.50	10.00	7.00	9.00	9.00
0725 12:00	2.69	0.64	8.00	9.50	10.00	8.00	10.00
0725 13:00	0.00	0.00	0.50	1.00	0.00	0.00	0.00
SUM	199.39	70.21	228.00	260.50	366.00	327.00	271.00
CORRELATION MAX			0.270	0.160	0.630	0.650	0.490
CORRELATION MEAN			0.310	0.210	0.700	0.780	0.620

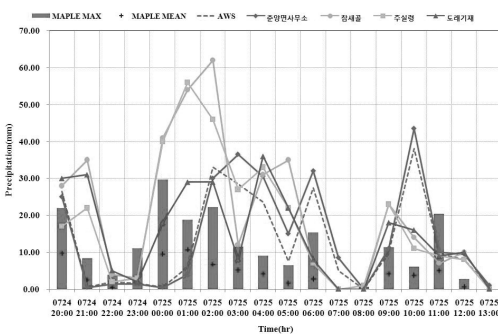


그림 3. MAPLE 3시간 예측강우의 대표값과 기관별 실측강우 기록 현황

한편, 봉화관측소와 춘양면사무소에 비하여 자동 우량정보계의 강우패턴을 잘 반영하는 것으로 나타났으나 양적인 측면에서는 평균값보다 최대값을 대표값으로 한 경우가 실제 총 강우량에 더 근접한 결과를 보였고 앞서 분석한 관측강우보다는 전반적으로 작게 모의되었으며 이와 같은 결과는 대상지역의 대표값을 평균값으로 보았을 때에는 자료의 평

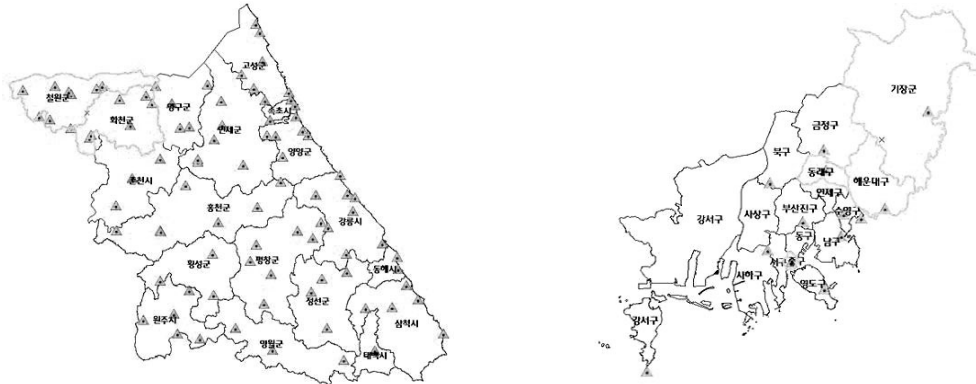
활 가능성이 있기 때문이다.

2008년 7월 경북 봉화군 춘양면을 대상으로 MAPLE 예측강우의 정확성을 검토한 결과, 3시간 이내 예측강우의 시공간적 분포는 실제 강우 이동 현황과 그 패턴을 잘 재현하는 것으로 나타났다. 그러나 양적인 측면에서는 이 기간에 MAPLE 예측강우가 과소 추정되는 경향을 보였다. 국립방재연구소(2008)는 이 기간에 발생한 강우가 기상청의 조밀한 기상관측망에도 위험을 예보하기에 곤란할 정도의 심각한 국지성 집중호우라 언급하였다. 이러한 내용에 따라 본 연구에서는 2009년 7월 집중호우에 대한 추가분석을 실시하였다.

### 6. 2009년 7월 집중호우 분석

본 절에서는 2009년 7월 중순 발생한 집중호우를 대상으로 강원도와 부산광역시에 대한 MAPLE





(a) 2009년 7월 14일 강우사상 강원도 철원군과 화천군

(b) 2009년 7월 16일 강우사상 부산광역시 중구, 동래구, 해운대구, 기장군

그림 4. 2009년 7월 집중호우 사례분석 대상지역

표 5. 분석 대상지역의 해당 기상청 AWS 및 기간

대상	강원도		부산광역시			
	철원군	화천군	중구	동래구	해운대구	기장군
기상청 AWS	철원	화천	부산	동래구	해운대	기장
분석기간	20090714 05:00~15:00		20090716 06:00~16:00			

자료를 추출하여 기상청 AWS 관측치와의 강우패턴과 경향성을 비교 분석하였다. 이 때, 분석대상은 시군구 단위로 하였으며 강우 발생과 집중도에 따라 7월 14일은 강원도 화천군과 철원군 2개 시군구를, 7월 16일에는 부산광역시 중구, 동래구, 해운대구와 기장군 4개 시군구를 각각 선정하였으며 그 위치와 기상청 AWS 위치 현황은 그림 4와 같다. 표 5에는 본 절에서 분석하고자 하는 대상지역, 기간과 각 지역에서 비교한 기상청 AWS를 정리하였다.

### 6.1 7월 14일 사례분석(강원도 철원군과 화천군, 2개 시군구)

본 절에서는 강원도 철원군과 화천군을 대상으로 2009년 7월 14일 05시부터 15시까지 발생한 강우에 대하여 MAPLE 3시간 예측강우와 기상청 AWS 실측강우를 비교하여 표 6과 7에 나타내었다. 표에서 기상청 AWS는 철원과 화천관측소의 실측강우이며 초단기 예측강우 MAPLE은 3시간 예측강우로써 분석시간인 5시부터 15시까지 3시간 단위로 나누어 표현한 것이다. 그리고 이렇게 3시간 단위로 구분한 강우에 대한 평균값(AVE.)과 최대값(MAX)을 산정하여 이들 각각에 대한 총 강우량을 AWS와 비교하였다. 양적인 측면에서 MAPLE 3시간 예측강우는 기상청 AWS 실측강우를 비교하였

표 6. 강원도 철원군(2009년 7월 14일 강우사상)

시간(hr)	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	총 강우량
기상청 AWS	10.5	6.5	3.0	1.5	2.0	1.5	5.0	7.0	9.5	12.0	0.5	59.0
초단기 예측강우 MAPLE	18.23	14.90	28.40									
			28.40	15.93	14.57							
					14.57	16.56	19.39					
							19.39	19.00	20.19			
AVE.	20.51		15.69			19.53			-			55.72
MAX	28.40		16.56			20.19			-			65.15

표 7. 강원도 화천군(2009년 7월 14일 강우사상)

시간(hr)	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	총 강우량
기상청 AWS	1.5	1.0	1.5	5.0	5.0	6.5	3.0	5.5	18.0	12.5	30.0	89.5
초단기 예측강우 MAPLE	9.79	20.37	16.18									
			16.18	19.02	16.58							
					16.58	19.44	57.98					
							57.98	52.31	88.43			
								88.43	45.72	-		
AVE.	15.45			18.35			66.24			-		100.03
MAX	20.37			19.44			88.43			-		128.24

표 8. 부산광역시 중구(2009년 7월 16일 강우사상)

시간(hr)	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	총 강우량
기상청 AWS	8.5	39.0	78.0	54.5	46.0	15.5	6.0	2.5	0.0	0.0	0.0	250.0
초단기 예측강우 MAPLE	25.95	24.55	52.19									
			52.19	22.56	-							
					-	1.85	0.43					
							0.43	0.11	0.00			
								0.00	0.00	0.00		
AVE.	34.23			12.21			0.18			-		46.62
MAX	52.19			22.56			0.43			-		75.18

표 9. 부산광역시 해운대구(2009년 7월 16일 강우사상)

시간(hr)	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	총 강우량
기상청 AWS	7.0	38.0	58.5	77.5	46.0	12.0	2.0	2.5	0.5	0.0	0.0	244.0
초단기 예측강우 MAPLE	7.49	79.79	37.62									
			37.62	63.33	-							
					-	1.29	4.80					
							4.80	4.18	0.00			
								0.00	0.00	0.00		
AVE.	41.63			32.31			2.99			-		76.93
MAX	79.79			63.33			4.80			-		147.92

을 때 94.45%~143.28%의 차이를 보였고 이 사상에 대하여 대체적으로 과대추정하는 경향이 있는 것으로 나타났다. 이는 MAPLE 예측강우를 정량적으로 분석한 결과, 예코의 생성과 소멸 기구가 없어 과다추정되는 경향이 있다고 한 장동연(2009)의 연구내용과 일치한다.

### 6.2 7월 16일 사례분석(부산광역시 중구, 동래구, 해운대구과 기장군, 4개 시군구)

2009년 7월 16일 부산광역시에 발생한 집중호우는 시간당 30mm이상의 강우가 3시간 이상 지속되

어 돌발성 집중호우의 특성을 보였다. 이 날 발생한 집중호우에 대하여 05시부터 15시까지 부산 중구, 동래구, 해운대구와 기장군을 대상으로 MAPLE 3시간 예측강우와 실측강우를 비교하였으며, 지면관계상 중구와 해운대구에 대한 결과만을 제시하기로 한다(표 8~표 9). 이 때, 표 구성 및 내용은 앞서 6.1절에서 설명한 바와 동일하다. 단, 7월 16일의 경우 합성 이미지 오류로 인하여 09시의 MAPLE 자료가 표출되지 않아 누락되었다. 분석결과에 따르면, 부산광역시 4개 시군구에 위치한 기상청 AWS 관측소에 의한 총 강우량보다 과소추정되는 결과를 보여 앞서 7월 14일 사례와 차이를 보였다.

그러나 MAPLE 3시간 예측강우와 실측강우의 상관성을 분석한 결과, 0.81~0.88로 매우 높은 결과를 보여 강우패턴과 그 경향성은 잘 반영하는 것으로 나타났다.

2009년 7월 14일과 16일 강우사상을 강원도와 부산광역시 일부 시군구에 적용하여 기상청 AWS 실측강우와 비교한 결과에 따르면, MAPLE 3시간 예측강우는 국지성, 돌발성 특성을 지닌 강우에 대하여 총 강우량은 과소추정하는 경향을 보였으나 강우 증감에 따른 패턴과 경향성을 매우 잘 표현하는 것으로 나타났다(5.1절과 6.2절) 지속적인 일반적 집중호우에 대하여는 총 강우량을 대체적으로 잘 표현하는 것으로 분석되었다. 양적인 측면에서는 최근 레이더와 지상강우의 강우보정에 뛰어난 것으로 알려진 Conditional Merging 방법(Kriging with Radar-based error correction, KRE) 등을 적용, 보완함으로써 수자원분야에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

MAPLE은 물리적 모형이 아니며, 따라서 강우의 생성이나 소멸이 모의되지 않는다. 다만, 현재 주어진 강우장을 미래 시점에 대하여 적절히 재배치해주는 기능을 가지고 있어 초단기 예보에 적합한 특징을 갖는 것으로 볼 수 있다. 그러나 이 예측 결과는 입력 자료로 사용되는 현재의 레이더 강우장에 매우 의존적으로, 현재 시점의 레이더 강우장의 정확도에 따라 그 결과에 차이를 보인다. 따라서 현재 얻은 결과는 모형의 문제라기보다는 입력 자료의 영향이 더 지배적인 것으로 볼 수 있으며 향후, 입력 자료의 정도 향상을 통해 더욱 정확한 초단기 예측 결과를 생산할 수 있다.

## 7. 결과 및 고찰

최근 국지성 집중호우와 단기성 극한 강우의 출현빈도가 잦아지는 등 강우패턴이 변화하면서 강우의 시공간적 분포 양상을 정확하게 파악하고 강우

발생 지역과 그 양을 정확하게 예측하는 데 관심이 집중되고 있다. 현재, 국내에서는 6시간 이내의 초단기 예측모형을 운영하고 있으나 돌발성 집중호우와 같이 예측이 어렵고 대응 시간 확보가 필요한 경우에 대비하여 최근 기상청에서는 3시간 이내에서 예측성이 높은 것으로 평가되고 있는 MAPLE 자료를 시험운영하고 있다. 본 연구에서는 MAPLE모형을 간략히 소개하고 이 모형으로부터 생성된 강우를 기상청 AWS와 지자체 강우기록계의 비교를 통해 관측 및 예측에 대한 정확성을 검토하였다.

- (1) MAPLE 모형은 캐나다 맥길대학교에서 개발한 강수예측알고리즘을 적용한 모형으로 현재, 국내에서는 2008년 6월부터 시험운영되고 있다. 이 모형은 크게 강수장과 바람장으로 구성되며 여기서 강수장은 10분 단위로 갱신되고 6시간 선행 예측이 이루어지는 강수 예측장을 생성한다. 단일 격자 크기는 1km×1km이며, 예보영역은 1,024km×1,024km 격자 체계로 이루어져 있다.
- (2) MAPLE 모형의 관측 및 예측강우의 정확성을 평가하기 위하여 본 연구에서는 2008년 7월 24일경 심각한 국지성 집중호우가 발생한 경북 봉화군 춘양면을 대상지역으로 선정하였다. 그리고 이 지역에 대하여 특정 지점과 대상지역의 대표값으로 MAPLE 모형 CAPPI20의 관측 및 예측강우를 추출하고 이들을 기상청 AWS 봉화관측소와 춘양면사무소, 자동우량경보계인 참새골, 주실령, 도래기재에서의 관측치와 비교 분석을 실시하였다.
- (3) 경북 봉화군 춘양면에 위치한 기상청 AWS 봉화관측소, 춘양면사무소와 자동우량경보계와 각각 일치하는 격자값(특정 지점 격자)을 기관별 강우기록계의 관측치와 비교한 결과, 기상청 AWS 봉화관측소와 춘양면사무소가

자동우량정보계와의 상관성보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 3시간 예측강우와의 비교 결과에서는 기상청 외 기관별 강우기록계의 상관성이 급격히 감소하는 것으로 나타나 큰 차이를 보였고 양적인 측면에서는 2008년 7월 24일 강우 사상의 경우 관측 및 예측강우에서 과소추정하는 경향이 있는 것으로 나타났다.

- (4) 경북 봉화군 춘양면을 포함하는 MAPLE 격자들 중 최대값과 평균값을 대표값으로 보고 이들 값을 기관별 강우기록계의 관측치와 비교한 결과, 관측강우와 예측강우 모두 자동우량정보계인 참새골, 주실령, 도래기재에서 높은 상관성을 보였다. 또한, 특정 지점 격자와는 달리 대표값을 이용하는 경우, 실제 기관별 관측치와 MAPLE 관측강우와 예측강우의 상관성 분석 결과에 큰 차이를 보이지 않았다.
- (5) 2009년 7월 집중호우에 대하여 강원도 철원군과 화천군, 부산광역시 중구, 동래구, 해운대구와 기장군을 대상으로 MAPLE 3시간 예측강우를 실측강우와 비교한 결과, 강우특성에 따라 일반적이고 장기적인 강우에 대하여는 과대추정 경향이 강한 것으로 나타났다. 그러나 돌발성 특성을 지닌 강우에 대하여는 강우패턴과 경향성에 대한 예측이 매우 뛰어나

난 것으로 분석되었다.

본 연구의 분석 결과에 따르면, MAPLE 모형(CAPPI20)에 의한 3시간 이내 예측강우의 시공간적 분포는 실제 강우 이동현황을 대체적으로 잘 재현하는 결과를 보였다. 그러나 양적인 측면에서는 강우특성에 따라 차이를 보였으며 이에 대하여는 지상강우와의 보정 방법 등을 통하여 보완할 수 있을 것으로 판단된다. MAPLE은 강우의 생성이나 소멸은 모의되지 않으며 현재 주어진 강우장을 미래 시점에 대하여 적절히 재배치함으로써 초단기 예보에 적합한 특징을 갖고 있다. 그러나 예측 결과는 입력 자료로 사용되는 현재 레이더 강우장의 영향을 크게 받으므로 모형 뿐 아니라 입력 자료의 정도 향상에도 지속적인 연구와 관심이 요구된다.

본 연구에서는 향후 초단기 예측모형 MAPLE에 대한 강우를 보정, 평가할 계획이며 현재는 기상청에서 제공하는 MAPLE 자료의 강수장과 바람장 중 강수장만을 적용하고 있으나 강우의 공간분포에 대한 정확성을 향상시킬 수 있도록 바람장을 고려하는 연구를 진행할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 국립방재연구소 산지특성을 고려한 GIS기반 돌발홍수예측시스템 프로토타입 개발의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다. ☺

### 참고문헌

1. 건설교통부(2007a) 강우레이더에 의한 돌발홍수예보시스템 개발(3차년도)
2. 건설교통부(2007b) 임진강 강우레이더 시스템 최적화 연구용역(2차년도)
3. 고익환, 정참삼, 김태국(2007) 유역통합 물관리를 위한 기상정보의 활용과 수문기상 연구동향, 한국수자원학회지, 한국수자원학회, Vol.40, NO.8, pp.16-23
4. 국립기상연구소(2007) 단시간 강수예측능력 향상 연구(Ⅱ-1)

5. 국립방재연구소(2008) 7.23~26 경북 봉화군 호우피해 현장조사 결과 및 대책
6. 국립방재연구소(2009) 산지특성을 고려한 GIS 기반 돌발홍수예측시스템 프로토타입 개발
7. 김병식, 홍준범, 이운상, 윤석영(2006) 우량계와 강우레이더에 의해 관측된 강우량의 공간 분포 비교, 대한토목학회 정기학술대회, 대한토목학회, pp.1572-1575
8. 김수영, 남우성, 허준행(2004) 강우의 시간분포를 이용한 국지성 집중호우의 이동경로 분석, 대한토목학회 정기학술대회, 대한토목학회, pp.4092-4095
9. 이정순, 정성훈, 김동훈, 진중훈, 이희상(2007) SCAN을 이용한 2007년 7월 집중호우 사례분석, 한국기상학회 학술대회 논문집, 한국기상학회, pp.310-311
10. 이종국(2001) 수요 중심의 기상서비스 구현, 나라경제 5월호, pp.120-122
11. 이희춘(2008) 초단기 예측모델 시험운영 실시, 국립기상연구소 뉴스센터 제49호, 국립기상연구소, pp.6
12. 장동연(2009) 기상청 초단기 예측모델 개발 현황과 계획, 제1회 초단기 예측모델 개발 및 활용에 관한 워크숍
13. 장석근(2002) Kalman Filter를 이용한 충주댐 유입량 예측기법의 결합, 석사학위논문, 서울대학교
14. 정성훈, 김동훈, 이희상, 최치영, 이정순, 진중훈(2007) 레이더 자료의 활용 SCAN, MD, 기상레이더 workshop 제8회, 대전 공군 제73기상전대 계룡대
15. 최지혜, 남경엽, 장기호, 오성남(2006) 초단시간 강수예보모델을 이용한 2006년 고양시 집중호우 사례 분석, 한국기상학회 학술대회 논문집, 한국기상학회
16. Charles, L., Slavko V., Kilambi, A., Turner, B., and Zawadzki, I.(2005), Precipitation forecast skill of numerical weather prediction models and radar nowcasts, Geophysical research letters, Vol, 32, L14801, doi:10.1029/2005GL023451
17. Zawadzki, I., Bellon, A., and Kilambi, A.(2007) Nowcasting of Prediction by Variational Echo Tracking, Department of Atmospheric and Oceanic Sciences McGill University, Montreal, Canada