

저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건 을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 <u>이용허락규약(Legal Code)</u>을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer =



환

지상우량계와 기상레이더 강우강도의 비교연구

조선대학교 대학원

대기과학과

임 재 환

지상우량계와 기상레이더 강우강도의 비교연구

A Comparative Study of the Rainfall Intensity between Ground Rain Gauge and Weather Radar

2009년 2월 25일

조선대학교 대학원

대기과학과

임 재 환

지상우량계와 기상레이더 강우강도의 비교연구

지도교수 류 찬 수

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함.

2008년 10월

조선 대학교 대학원 대기과학과 임재환

임재환의 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 기 상 청 공 학 박 사 이 종 호 인

심사위원 조선대학교 교 수 류 찬 수 인

심사위원 조선대학교 초빙객원교수 정효 상인

2008년 11월

조선대학교 대학원

목 차

List of Tablesiii
List of Figuresiv
ABSTRACTvi
제 <i>1</i> 장 서 론 ₁
제 <i>2</i> 장 기상레이더 현황 및 자료분석
제1절 기상레이더 현황
제2절 기상레이더 개요
제 <i>3</i> 절 <i>Z-R</i> 관계식5
1. 기상레이더 관측원리5
2. Z-R 관계식 소개 ···································
제4절 사례분석 방법 및 결과
1. 사례분석 방법g
2. 사례분석일 현황11
3. 사례분석 및 결과 ·······12
<i>1) 2008</i> 년 <i>5</i> 월 <i>28</i> 일 사례 ···································
<i>2) 2008</i> 년 <i>6</i> 월 <i>17</i> 일 사례 ···································
<i>3) 2008</i> 년 <i>6</i> 월 <i>18</i> 일 사례 ···································
<i>4) 2008</i> 년 <i>6</i> 월 <i>28</i> 일 사례 ···································
5) 2008년 7월 2일 사례 ···································
<i>6) 2008</i> 년 7월 <i>23</i> 일 사례 ·······33
7) 2008년 8월 15일 사례

제3장 결과 및 해석3	35
1. 사례분석 결과3	35
2. 각 기상레이더별 상관계수 ······3	35
제4장 결론4	12
참고 문헌4	13

List of Tables

Table 1.	Z-R Relationship a and b value of world various area 2
Table 2.	Location of weather radar site 3
Table 3.	Component of weather radar
Table 4.	Various Z-R relationship reflectivity and rain rate
Table 5.	Weather station of weather radar inside of 50km 9
Table 6.	The case analysis day of Osungsan weather radar site 11
Table 7.	The case analysis day of Jindo weather radar site11
Table 8.	The case analysis day of Kuducksan weather radar site11
Table 9.	Correlation coefficient of Osungsan weather radar
Table 10.	Correlation coefficient of Jindo weather radar40
Table 11.	Correlation coefficient of Kuduksan weather radar40

List of Figures

Fig.	1.	$Surface \cdot 500 hPa \ weather \ chart \ (2008.\ 5.\ 28.) \\12$
Fig.	2.	MTSAT-1R enhanced infrared $\boldsymbol{\cdot}$ infrared image (2008, 5, 28.)
Fig.	3.	(a)AWS rainfall distribution map, (b)weather radar rain rate
		(2008. 5.28.)
Fig.	4.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Osungsan
		weather radar ······14
Fig.	5.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Jindo
		weather radar15
Fig.	6.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Kuducksan
		weather radar16
Fig.	7.	$Surface \cdot 500hPa \ weather \ chart \ (2008. \ 6. \ 17.) \\17$
Fig.	8.	MTSAT-1R enhanced infrared $\boldsymbol{\cdot}$ infrared image (2008. 6. 17.)
Fig.	9.	(a)AWS rainfall distribution map (b)weather radar rain rate
		(2008. 6.17.)
Fig.	10.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Jindo
		weather radar ·····19
Fig.	11.	$Surface \cdot 500hPa \ weather \ chart \ (2008. \ 6. \ 18.) \\20$
Fig.	12.	MTSAT-1R enhanced infrared $\boldsymbol{\cdot}$ infrared image (2008. 6. 18.)
Fig.	13.	(a)AWS rainfall distribution map, (b)weather radar rainrate
		(2008. 6. 18.)
Fig.	14.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Osungsan
		weather radar
Fig.	15.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Jindo
		weather radar23
Fig.	16.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Kuducksan
		weather radar24
Fig.	17.	Surface · 500hPa weather chart (2008, 6, 28,)

Fig.	18.	MTSAT-1R enhanced infrared \cdot infrared image (2008. 6. 28.)
Fig.	19.	(a)AWS rainfall distribution map, (b)weather radar rain rate
		(2008. 6. 28.)
Fig.	20.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Osungsan
		weather radar27
Fig.	21.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Jindo
		weather radar ————————————————————————————————
Fig.	22.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Kuducksan
		weather radar ————————————————————————————————
Fig.	23.	$Surface \cdot 500hPa \ weather \ chart \ (2008. \ 7. \ 2.) \\ 30$
Fig.	24.	MTSAT-1R enhanced infrared \cdot infrared image (2008, 7, 2,) $\cdots\cdots 30$
Fig.	25.	(a)AWS rainfall distribution map, (b)weather radar rain rate
		(2008. 7. 2.)
Fig.	26.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Jindo
		weather radar ————————————————————————————————
Fig.	27.	$Surface \cdot 500hPa \ weather \ chart \ (2008.\ 7.\ 23.) \\33$
Fig.	28.	MTSAT-1R enhanced infrared \cdot infrared image (2008, 7, 23.) 33
Fig.	29.	(a)AWS rainfall distribution map, (b)weather radar rain rate
		(2008. 7.23.)
Fig.	30.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Osungsan
		weather radar35
Fig.	31.	$Surface \cdot 500hPa \ weather \ chart \ (2008. \ 8. \ 15.) \\36$
Fig.	32.	MTSAT-1R enhanced infrared $\boldsymbol{\cdot}$ infrared image (2008. 8. 15.) $\cdots\cdots\cdots$ 36
Fig.	33.	(a)AWS rainfall distribution map, (b)weather radar rain rate
		(2008. 8.15.)
Fig.	34.	Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Kuducksan
		weather radar
Fig.	35.	Correlation coefficient of Osungsan weather radar40
Fig.	36.	Correlation coefficient of Jindo weather radar41
Fig.	37.	Correlation coefficient of Kuduksan weather radar41

ABSTRACT

A Comparative Study of the Rainfall Intensity Between Ground Rain Gauge and Weather Radar

Lim Jae-Hwan

Advisor: Prof. Ryu, Chan-Su Ph.D Department of atmospheric science Graduate school of Chosun university

Today they use a weather radar with spatially high resolution in predicting rainfall intensity and utilizing the information for super short-range forecast in order to make predictions of such severe meteorological phenomena as heavy rainfall and snow. For a weather radar, they use the Z-R relational equations between the reflectivity factor(Z) and rainfall intensity(R) by rainfall particles in the atmosphere in order to estimate intensity. Most used among the various Z-R relational equations is Z=200R^{1.6} applied to stratifomis rain. It's also used to estimate basic rainfall intensity of a weather radar run by the weather bureau. This study set out to compare rainfall intensity between the reflectivity of a weather radar and the ground rainfall of ASOS(Automatic Surface Observation System) by analyzing many different cases of heavy rain, analyze the errors of different weather radars and identify their problems, and investigate their applicability to nowcasting in case of severe weather.

제1장 서 론

집중호우와 폭설 등 악기상 현상을 예측하기 위한 강우량자료의 정량화는 예측모델의 상세화와 수문모델의 정량적인 강수자료 활용의 기반이 되고 있다. 기상청에서는 정량적인 강우강도 평가를 위하여 자동기상관측장비(Automatic Weather System: AWS)를 전국에 설치하여 지상강우강도 자료를 생산하여 활용하고 있다. 그러나 대륙성기후와 해양성기후를 접하는 한반도의 기후특성으로 단시간에 발생하는 집중호우나 소낙성 강우에 대한 예보나 연구를 위해서는 매우 조밀한 관측망이 필요하다. 이러한 관측시스템을 갖추고 운영하기가 어려우므로 공간적으로 높은 분해능의 기상레이더를 이용하여 단시간 예보와 연구에 활용하고 있다. 자동기상관측장비의 공간분해능을 극복하고, 기상레이더의 정확도를 보완하여 악기상발생시 강우강도를 추정하여 예보에 활용하고 있는 것이다.

기상청은 1969년 12월 관악산에 최초로 기상레이더(RAdio Detecting and Ranging :RADAR)를 도입하여 기상업무에 레이더 장비를 활용하기 시작하였으며, 이어 구덕산, 동해, 오성산, 고산, 진도, 백령도, 광덕산, 성산에 기상레이더를 확대설치하여 운영하고 있다.

기상레이더 관측은 한 지점에서 반경 약 240km 이내의 모든 영역에 대한 탐지가 가능하며, 1km 내외의 비교적 조밀한 공간 해상도를 가지면서 단 시간 주기로 실시간의 기상관측 자료를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있어, 한반도 내의 대기 상태 파악과 국지영역 기상분석을 위해서 필수적인 관측 장비이다.

악기상이 예상될 때 기상레이더를 활용한 강수예보는 다가오는 강수시스템의 에 코로 강우강도를 예상 할 수 있으며, 이때 사용되는 기상레이더의 강우강도 추정은 공기중의 강우입자에 의한 반사도인자(Z)와 강우강도(R)와의 관계식인 Z-R관계식을 이용하고 있다. 기상청에서 운영하고 있는 기상레이더는 장비의 제원 및 제조사가 동일하지 않으나, 기상레이더의 관측자료를 동일한 포맷(Universal Format)으로 변환, 합성하여 강수에코를 표출하여 사용하고 있다. 기상레이더의 강우강도는 기상레이더방정식와 Z-R관계식에 의해 산출되는데, 이 때의 반사도인자 Z는 장비의 제원 및 특성에 따라 다소 차이가 발생할 수 있다. 세계적으로 기상레이더 운영에서 Z-R관계식으로 가장 많이 활용하고 있는 형태가 층상우에 적용하는 관계식

 $Z=200\ R^{1.6}$ 과 지형성(태풍) 강수 $Z=31\ R^{1.71}$, 뇌우성 강수 $Z=486\ R^{1.37}$, 강설 $Z=2000\ R^{2.0}$ 이다. 현재 기상청에서 운영하고 있는 대표적인 기상레이더의 강우강도추정은 층상형 강우일때 적용하는 $Z=200\ R^{1.6}$ 을 사용하고 있다.

본 연구에서는 여러 사례분석을 통하여 집중호우가 발생될 때 기상레이더의 반사도에 의한 강우강도와 유인관측지점의 자동기상관측장비(ASOS) 지상강우량의 강우강도를 비교하고 각기 다른 기종 기상레이더의 그 오차를 분석하여 국지악기상 발생 시 실황예보(nowcasting)에 적용여부를 알아보고자 하였다.

참고 : 기상레이더 Z-R관계식의 국내·외 연구 동향

기상레이더의 강우강도는 Z-R관계식으로 추정할 수 있다. 이 Z-R관계식이 강수시스템의 강우강도를 결정하는 만큼 다양한 연구가 진행되어 오고 있다. 외국의 연구 동향을 살펴보면 레이더 관련 연구자들에 의하여 여러 지역에서 다양한 형태로 Z-R 관계식이 만들어져 사용하고 있음을 알 수 있다. Table 1은 세계 여러 지역에서 사용하고 있는 Z-R 관계식이다.

국내에서는 특정 지역을 대상으로 특정 기간동안 적용할 수 있는 Z-R 관계식을 도출하는 연구가 학계, 공군기상대, 기상연구소 등에서 이루어진 바가 있다.

Table 1. Z-R Relationship a and b value of world various area.

Research	Araa	Z = a	$Z = a \cdot R^{b}$		
Research	Area	a	ь		
Blanchard(1953)	Hawaii	31	1.71		
Mai(1960)	Ionon	700	1.60		
Wai(1900)	Japan	80	1.50		
	Norman,	45	1.43		
Wilson(1963)		241	1.45		
	Oklahoma	141	1.72		
Doherty(1963)	Ottawa, Canada	70	1.42		
Donerty (1903)	Ottawa, Callada	38.4	1.63		
Aoyagi(1964)	Tokyo	100	1.40		
Diem(1966)	Karlsruhe, Germany	227	1.31		
Berjul Jew(1966)	Valday, USSR	340	1.40		
Mueller and Sims(1966)	Forida	286	1.43		
Fujiwara(1967)	Hawaii	80	1.39		

제2장 기상레이더 현황 및 자료분석

제1절 기상레이더 현황

한반도 전역을 감시할 수 있는 기상레이더(기상청운영)는 여름철 중규모 악기상의 조기감시에 역할이 증대되고, 기존 기상레이더 관측망 취약지역에 대한 보강이추진되면서 전국에 10소를 운영하고 있다. 이 기상레이더 지점 중 2001년 8월에 설치된 전라남도 진도, 2005년 5월에 설치된 부산광역시 구덕산, 2007년 4월에 설치된 전라북도 오성산기상레이더지점을 사례분석 지점으로 선택하였다. 위 지점에 설치된 기상레이더는 전남 남서해안 지역과 호남 내륙 지역, 경남해안과 경남내륙의태풍 또는 호우성 강수 에코를 집중적으로 탐지하기 위하여 S밴드 도플러 레이더가 채택되었다.

기상레이더의 지점별 위치는 Table 2와 같고, 각 관측소의 기상레이더는 제조사가 각기 다르며, 장비의 사양도 각각 다르다. 그러나 관측자료는 동일한 포맷(UF)으로 변환하여 전송되고, 이를 기상청에서 합성하여 기상예보에 활용하고 있다(Table 3).

Table 2. Location of weather radar site.

Radar site	Location			Height above	Antenna
name	Lat.	Long.	Address	the sea(m)	height(m)
Osungsan	36.00	126.47	전북 군산시 성산면 성덕리	217.0m	230.0m
Jindo	34.28	126.19	전남 진도군 의신면 사천리	476.4m	486.4m
Kuducksan	35.06	129.00	부산광역시 서구 서대신동 3가	518.0m	545.5m

Table 3. Component of weather radar.

Manufacture Co. Performance			Gematronik (Germany)	Metstar (China)	EEC (USA)
	Radar site			Osungsan	Kuducksan
	Modulation	Tube	Klystron	Klystron	Klystron
	Frequency(MHz)	2,890	2,735	2,712
Trans-	Pulse	short	$1.0\mu s$	$1\mu s$	1.0μs
mitter	width	long	$2.5\mu s$	$4.5\mu s$	$4.5\mu s$
	D1 DDE	short pulse	600, 400Hz	600, 400Hz	600, 400Hz
	Dual PRF	long pulse	250Hz	312Hz	300Hz
	Possession Frequency Width		8 M	8 M	8 M
D	Dynamic range		95 dB	114 dB	100 dB
Receiver	MDS		-110 dBm	-110 dBm	-114 dBm
	Antenna diameter		8.5 m	8.5 m	8.5 m
ANT	Beam width	1	1°	1°	1.2°
	Antenna Gain		44 dB	45 dB	45 dB

제2절 기상레이더 개요

기상레이더의 기본구성은 대체로 송신기와 수신기, 안테나 그리고 레이더신호처리기와 표출기 등으로 구분된다.

송신기는 트리거분배기, 고전압공급기, 변조기, 송신관으로 구성된 마이크로파 펄스 송신기는 정해진 펄스반복진동수마다 일정한 펄스폭의 고주파 전력을 만들어 안테나로 송출한다.

수신기는 마이크로파 펄스 송신기에서 송출한 고주파가 목표물에 반사되어 돌아오는 미약한 기상에코를 수신기가 검출하여 증폭시킨다. 기상레이더는 기상 목표물로부터의 반사되어 돌아오는 미약한 수신전력 강도를 측정하기 때문에 넓은다이내믹레이지가 요구된다.

안테나는 도파관, 포물면 반사기, 피드혼(Feed-horn)과 안테나를 지지하고 구동 시키는 페데스탈, 안테나를 제어하는 서보증폭기 그리고 안테나를 강풍과 부식 등 으로부터 보호하는 레이돔으로 구성되어 있다.

신호처리기는 레이더 시스템을 제어하는 레이더 신호처리기와 수신기로부터 수 신한 영상 신호를 처리하는 영상신호처리기로 부분한다. 영상신호처리기는 수신기 에서 공급되는 아날로그 영상 신호를 디지털신호로 변환해서 처리한다.

처리된 신호는 영상표출기로 전송되어지고, 영상표출기는 생산되어진 기상에코 를 화면에 표출한다.

기상레이더의 수신기에 수신된 신호는 직접적으로 강수를 나타내지 못하므로 반사도 Z와 강수 R과의 경험적 관계식 Z-R관계식으로 전환하여 강수량을 나타내고 있다.

제3절 Z-R 관계식

1. 기상레이더 관측 원리

기상레이더는 마이크로파를 발사하여 강수에 반사되는 강도를 측정하여 강수량을 계산한다. 즉 기상목표물을 탐지하여 정량적으로 계산하는데 이 때 레이더 수신기 내부에서 레이더 방정식이 사용된다.

레이더 방정식은 레이더 에코 값을 얻는데 기초가 되는 방정식으로 기상 레이더로 목표물을 탐지하여 정량적으로 계산하는데는 레이더 수신기 내부에서 레이더 방정식이 사용된다. 이 레이더 방정식은 안테나에 수신되는 평균수신전력 P_r , 송신 전력, 레이더 파장, 안테나 크기, 펄스 체적 내에 있는 빗방울 입자의 특성에 의해좌우된다. 식(1)은 이들의 관계를 나타내는 레이더 방정식이다.

$$P_r = \left(\frac{\pi^3 P_r G^{\Theta} \Phi h}{1024 \lambda^2 \ln 2}\right) \frac{|k|^2 Z}{r^2} \tag{1}$$

여기서 P_{r} 는 최대 송신전력, h는 펄스 폭(m), G는 안테나 이득, Θ 는 빔 폭 (radian), λ 는 파장(cm), k는 유전률(물인 경우 0.93, 얼음인 경우 0.23), Z는 수상입자에 의한 레이더 반사도 인자(radar reflectivity factor), r은 목표물까지 거리, 즉레인지(range)이다. 이 식에서 괄호 안에 있는 값은 레이더 종류와 기능에 따라 결

정되므로 레이더 상수 C로 대치시킬 수 있다. 따라서 식(1)은 다음과 같이 간단한 레이더 방정식으로 쓸 수 있다.

$$P_r = C \frac{|k|^2 Z}{r^2} \tag{2}$$

이 방정식에서 수신전력 P_r , 레이더 상수 C, 유전율 k, 그리고 레인지 r을 알면 수상입자에 의한 레이더 반사도 인자 Z를 알 수 있다. 레이더 방정식은 1948년 Marshall에 의해서 제창되었다.

2. Z-R 관계식 소개

지Table.에서 ASOS나 AWS의 강수량 계를 통하여 얻게되는 지상의 관측자료는 가장 정확한 강수 정보라고 할 수 있다. 그러나 지표의 강수량 관측장비를 통하여 얻게 되는 정보는 넓은 지역에 대한 정보를 얻기 어려운 한계를 가지고 있다. 이러한 문제점을 보완해주는 기상관측장비가 레이더 장비라고 할 수 있으며, 레이더 관측을 통하여 생산된 강수 정보는 기상예보 뿐만 아니라 수자원관리, 연구업무등 폭넓게 사용되고 있다. 그러나 레이더 관측에 의한 강수 정보는 강수에 반사되는 강도를 측정하여 강수량으로 환산한 간접적인 정보이기 때문에 실제 강수 정보와 차이를 발생하는 단점이 있으며 이러한 차이를 최소화하는 연구작업이 레이더반사도 인자(Z)와 강수 강도(R)의 관계, 즉 Z-R 관계식에 대한 연구라고 할 수 있고, 이의 연구가 중요한 이유도 여기에 있다.

Z-R 관계식은 한마디로 레이더 반사도(Z)와 지상 강수량(R)과의 관계를 Table. 현한 실험적인 경험식이라고 할 수 있다.

단위 체적당 직경의 6승을 합한 것을 Z 즉, 반사율(reflectivity factor)이라 부른다.

$$Z=\sum D^6$$
(1)

이 형태에서 Z는 실제 응용해 별로 중요하지 않다. 그러나 실험적 측정치는 Z가 강수량(r)과 관계되는 것을 볼 수 있다.

$$Z=ar^b$$
(2)

여기서 a 및 b는 실험적으로 선정된 상수이다. 이 관계식에서 수신된 에코 전력은 강수량과 관계될 수 있다. 수많은 실험에서 공식(2)의 상수를 결정하기 위한 작업들이 시도되었으나 보고된 결과들은 상당히 다양한 변화가 있었다. 이 부분은 아

마도 양적인 측정치를 얻는 것이 어렵고 강수가 시간에 따라 그리고 지역에 따라 변화하기 때문인 것 같다. 널리 수용되고 있는 공식(2)의 한 가지 형태는 $Z=200~R^{1.6}$ 이다. 여기서 $Z= m^6/m^3$ 이고, R은 m/m^3 이다. 이것은 직선형태 의 강수에 적용되는 것으로 언급되어 왔다. 산악 비에 대한 관계식은 $\mathcal{Z}=31$ $\mathcal{R}^{1.71},$ 심한 뇌우성 비에 대한 관계식은 $Z=486~R^{1.37}$ 이고 강설에 대한 관계식은 $Z=2000\ P^{2.0}$ 이다. 따라서 하나의 표현식이 사용될 필요가 없으며 Z-R 관계식의 선택은 비의 형태를 기초로 해서 레이더 관측이 이루어져야 한다. 일반적으로 대 류성 강도가 증가하면 계수 a는 증가하고 지수 b는 감소한다. 상수를 잘 선택한다 는 것은 Table 1.에서도 알 수 있듯이 강수량 측정에 있어서 중요한 문제이다. 만 약 사용자가 자신의 지역에 대한 특별한 경험이 없다면, 일단 모든 강수에 대해 $Z=200~R^{1.6}$ 을 사용하는 것이 무난하다. 그리고 상수 강수 유형에 맞도록 조정되 는 것이 타당하다. 최근 레이더의 프로그램에서는 이 상수를 수동으로 조정하게끔 되어 있다. 또한 위치가 잘 정해져 있고 유지 상태가 양호한 적은 수의 강수량 계 자료를 가지고 레이더 데이터를 조정하는 방법이 최근에는 현업용 레이더에 적용 되고 있다. 이것은 a와 b를 잘못 선택함으로써 야기되는 오차의 영향을 어느 정도 줄일 수 있다.

Table 4. Various Z-R relationship reflectivity and rain rate.

Reflectivitiy	mm/hr							
(dBZ)	$Z=200 R^{1.6}$	$Z=486 R^{1.37}$	$Z=31 R^{1.71}$	$Z=2000 R^{2.0}$	비고			
23	1.0	0.5	2.9	0.3				
24	1.2	0.6	3.4	0.3				
25	1.3	0.7	3.9	0.3				
26	1.5	0.8	4.4	0.4				
27	1.7	1.0	5.0	0.5				
28	2.0	1.2	5.8	0.5				
29	2.3	1.4	6.6	0.6				
30	2.7	1.7	7.6	0.7				
31	3.2	2.0	8.7	0.8				
32	3.6	2.3	9.9	0.9				
33	4.2	2.8	11.4	1.0				
34	4.7	3.3	13.0	1.1				
35	5.6	3.9	14.9	1.2				
36	6.4	4.6	17.1	1.4				
37	7.5	5.5	19.5	1.6				
38	8.6	6.5	22.3	1.8				
39	10.6	7.7	25.6	2.0				
40	11.5	9.0	29.3	2.2				
41	13.3	10.8	33.5	2.5				
42	15.4	12.7	38.3	2.8				
43	17.8	15.0	43.9	3.1				
44	20.5	17.8	50.2	3.5				
45	23.6	21.0	57.4	3.9				
46	27.3	24.9	65.7	4.4				
47	31.6	29.4	75.2	5.0				
48	36.4	34.8	86.0	5.6				
49	42.1	41.2	98.4	6.3				
50	48.6	48.8	112.6	7.0				

제4절 사례분석 방법 및 결과

1. 사례분석 방법

가. Z-R 관계식 선정

Z-R 관계식은 물리적으로 빗방울의 직경 분포에 의존하고, 시·공간적으로 변화하고, 높은 상관도를 갖는다 해도 고정된 값만을 적용할 수 없다. 그래서 지역적, 시간적, 강수 형태별로 다양한 관계식이 제시되고 있는 상태이나, 본 연구에서는 1948년 Marshall과 Palmer에 의해서 경험적으로 산출한 강수 형태에 따른 Z-R 관계식을 기초로 층상우 형태의 강수에는 Z=200 R^{1.6} 적용하여 사례분석을 실시하였다.

나. 강수량 지점 선정 조건

각 기상레이더를 기준으로 레이더 에코의 대표성을 갖는 50km 거리이내의 관측지점을 선정하였다. 100km까지는 고도각의 변화에 영향을 적게 받으며 에코의 진행에 따른 강수의 변화를 분석하기 용이하기 때문이다. 따라서 강수량 자료 활용 지점으로 각 기상레이더의 3개 지점을 선정하였다.

Table 5	Weather	etation	α f	weather	radar	incide	of 50km

Radar site	Weather station					
Osungsan	Jeonju	Buan	Jeongeup			
Jindo	Mokpo	Wando	Haenam			
Kuducksan	Masan	Miryang	Geoge			

다. 사례기간 선정

2008년 5월~ 8월까지의 강수사례를 선정하였다.

라. 강수량 자료 선정 과정

레이더 에코와 지상의 실제 강수량을 비교하기 위하여 2008년 5월~9월까지 1일 호우강수량이 30.0mm이상 발생한 날을 조사하였다. 두 번째 단계에서는 3개의 기상 레이더지점을 중심으로 50km이내의 관측지점을 선택하였으며, 정확도를 기하기 위

하여 기상청의 유인관측지점을 선택하였다.

강수량 실측자료의 검색은 기상청의 기후자료관리시스템과 기상정보시스템의 자료를 이용하였다.

- 마. 강수량 자료 비교 방법
- 기상레이더의 강우강도 산출

기상청에서 운영하는 기상레이더의 주사방법은 10분간격의 볼륨관측으로 체적관측자료를 생산하고 있다. 레이더반사도자료는 CAPPI자료를 사용하여 여름철 밝은 띠(bright band)가 형성되는 고도인 3.5~5.5km보다 낮고 지형클러터의 영향이 적은 고도 1.5km CAPPI자료를 사용하였다. 10분 간격의 기상레이더자료는 시간당 강우강도를 생산되고 있으며, 본 연구에서는 10분단위의 강우강도를 연구자료로 사용하였다.

- 지상강우량의 강우강도 산출

지상강우량계의 1시간 강우강도는 여러 가지 방법으로 산출할 수 있다. 본 연구에서는 누적강수량으로부터 10분단위의 60분 이동누적강수량을 비교분석자료로 사용하였다.

- TRMM/GSP 강우강도 산출

TRMM/GSP 프로그램을 사용하여 1분 간격으로 관측된 일 누적 강우량자료를 Cubic spline 보간을 이용, 10분 단위의 시간당 강우율(mm/h)로 전환하여 사용하여 비교하였다.

- 비교분석

각 기상레이더의 선택지점의 지상강우량계의 강우강도와 TRMM/GSP 프로그램을 이용한 강우강도와 기상레이더의 선택지점의 반사도에 따른 강우강도를 비교·분석하였다.

레이더에서 제공되는 강수 정보는 레이더 시스템의 특성상 10분 관측 자료를 1시간 정보로 변환하여 넓은 영역에 걸쳐서 그래픽으로 표출하고 있으나, 지상의 강수량 자료는 10분 강수량을 60분 이동평균하여 자료를 생산하였고, 제공하고 있다. 이렇게 레이더 관측시스템과 지상 강수량 계 시스템 사이에는 자료를 생산하는 시간 환경에서 차이점을 가지고 있어 강수량 자료를 서로 비교하는 과정에서 어려움이 있었다. 이러한 차이점을 최소화하는 자료 비교 방법으로 지상 강수자료를 레이더 관측 10분에 가장 근접한 시간당 10분단위의 강수량 자료로 결정ㆍ비교하였으며, 레이더 의 강수 정보가 특정 지점 정보가 아닌 영역정보라는 점에 맞추어 지상 강수량 자료도 기상정보시스템에서 제공하고 있는 10분 그래픽 강수 정보자료를 활용하였다.

바. 일기도 및 위성영상 자료 분석

일기도자료는 지상일기도와 상층을 대표하는 500hPa 일기도 자료를 선택하여 종관 상태를 분석하였으며, 분석한 자료의 시점은 사례조사 시각 전에 생산된 00, 12UTC 자료에 한하여 분석하였다.

위성영상자료은 강수시점과 비슷한 시각의 자료를 취하였으며, GMS 강조영상과 적외영상을 한반도 주변 영역을 대상으로 분석하였다.

2. 사례분석일 현황

가. 기간 : 2008. 5. 1~2008. 8. 31

나. 사례분석 대상일은 총 7일로 Table 6과 같다.

Table 6. The case analysis day of Osungsan weather radar site.

The case	Rainfall of the case analysis day (mm)				
analysis day	Jeonju	Jeongeup	Buan		
May 28	47.5	66.5	43.5		
June 18	85.0	59.0	60.0		
June 28	63.5	62.5	66.0		
July 23	47.0	23.5	31.0		

Table 7. The case analysis day of jindo weather radar site.

The case	Rainfall of the case analysis day (mm)		
analysis day	Mokpo	Haenam	Wando
May 28	79.0	107.0	81.0
June 17	43.5	64.5	105.5
June 18	71.0	48.0	32.0
June 28	67.5	69.5	97.5
July 2	56.5	77.5	54.5

Table 8. The case analysis day of kuducksan weather radar site.

The case	Rainfall of the case analysis day (mm)		
analysis day	Masan	Miryang	Geoje
May 28	67.5	62.5	157.5
June 18	135.5	94.0	72.5
June 28	71.5	60.0	75.5
August 15	34.5	40.5	76.0

3. 사례분석 및 결과

1) 2008년 5월 28일 사례

가. 강수 현황

2008. 5. 28 사례는 장마 전선과 하층제트의 발달로 호우가 발생한 경우로 사례 분석의 비교지점에서 많은 일 강수량 지점은 거제 157.5mm, 해남에서는 107.0mm를 나타 냈다.

나. 일기도 및 위성영상

지상일기도에서는 서남해상 전선을 동반한 저기압이 위치하고 있으며, 500hPa 일기도에서는 북서쪽에 단파골이 형성되어 있다. 남해상의 장마전선과 하층제트가 발달하고 서쪽에서 한기가 남하하면서 남쪽지방에 강수의 강도가 강하여 많은 호 우가 발생하였다. 위성영상에서는 기압골의 영향으로 전국이 다층운의 영향을 받고 있으며, 서해상에서 새로운 대류운이 발생하여 영향을 미치고 있다.

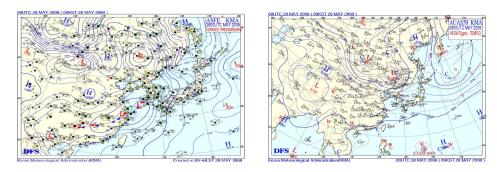


Fig. 1. Surface · 500hPa weather chart (2008. 5. 28.).

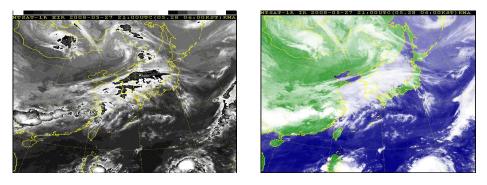


Fig. 2. MTSAT-1R enhanced infrared infrared image (2008. 5. 28.).

라. AWS 강수량 및 레이더 영상

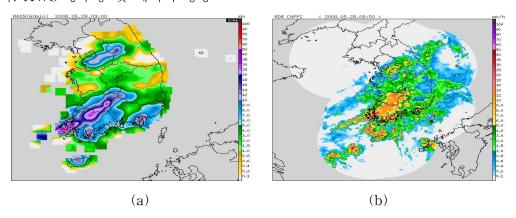
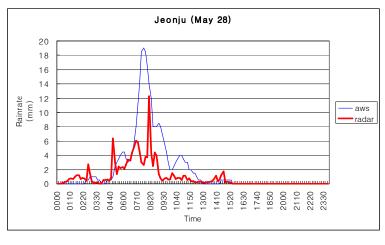


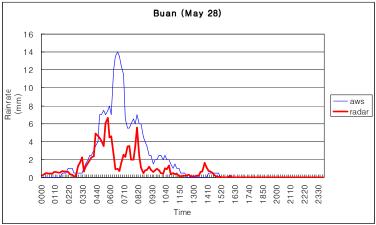
Fig. 3. (a) AWS rainfall distribution map, (b) Weather radar rainrate (2008. 5.28.).

Fig. 3의 (a) AWS 강수 분포도와 (b) 기상레이더 영상에서 남해안에 전반적으로 강한 호우가 연속적으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

마. 사례분석

본 사례에서는 저기압과 하층제트의 발달로 인한 호우가 발생시 기상레이더의 M-P관계식에 의한 강우강도는 지상강우량계의 강우강도와 상당한 차이가 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히 강수량이 집중적으로 나타나는 시간의 지상강우량계와 기상레이더의 강우강도가 많은 차이를 보이고 있다.





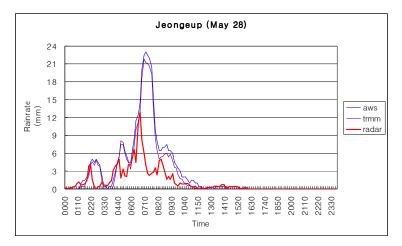
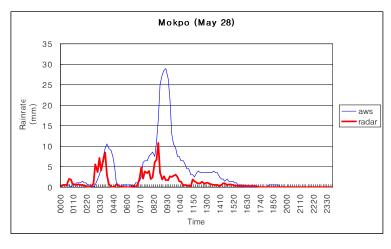
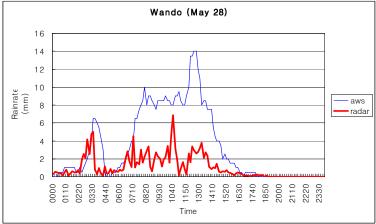


Fig.4. Compare of the rainfall intensity Between rain gauge and Osungsan weather radar.





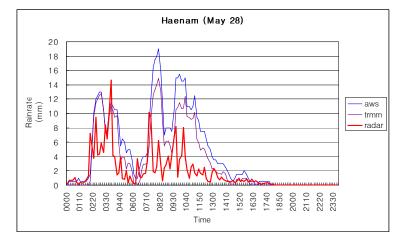
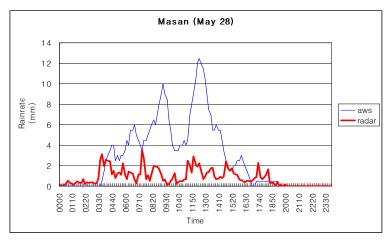
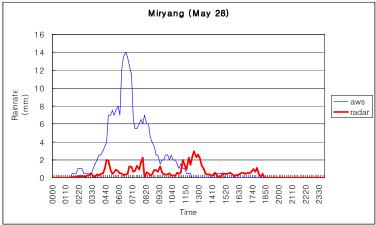


Fig.5. Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Jindo weather radar.





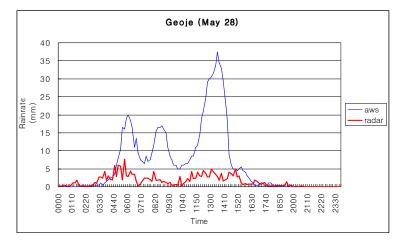


Fig.6. Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Kuducksan weather radar.

2) 2008년 6월 17일 사례

가. 강수 현황

기압골 전면에서 발생한 수렴과 남해상에서 유입되는 수증기에 의하여 남해상의 많은 비가 발생하였다.

나. 일기도 및 위성영상 분석

지상일기도에서 동중국해상에서 발생한 장마전선의 영향과 기압골 전면에 형성된 수렴으로 남해상의 많은 비가 발생하였다. 위성영상에서는 수증기가 화중지방의상층골 전면으로 건조역이 파고들면서 서해상에서 대류운을 발생시키고 있으며, 화남지방의 장마전선을 중심으로 전선상 구름대가 동북동진하고 있어 집중호우가 발생하고 있다.

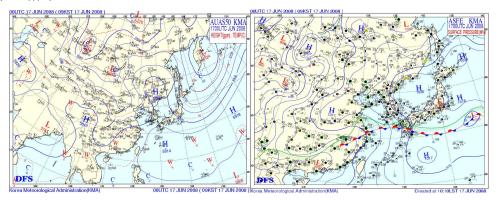


Fig. 7. Surface · 500hPa weather chart (2008. 6. 17.)

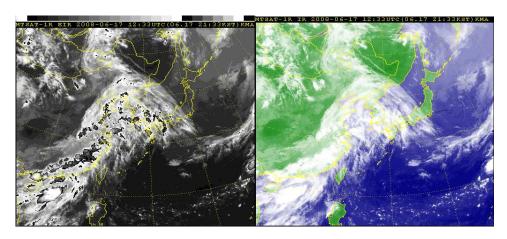


Fig. 8. MTSAT-1R enhanced infrared infrared image (2008. 6. 17.)

라. AWS 강수량 및 레이더 영상

Fig. 9의 (a) AWS 강수 분포도와 (b) 기상레이더 영상에서 남부지방에 강한 호우가 발생하였다.

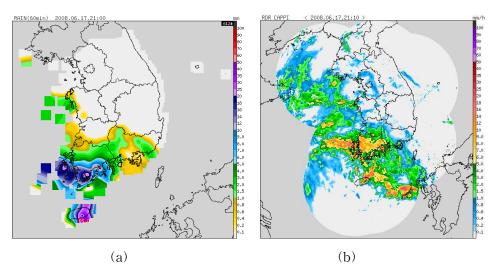
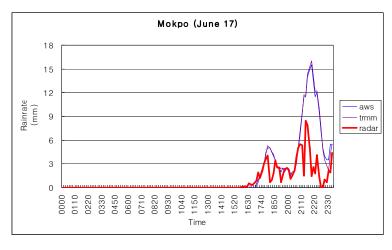
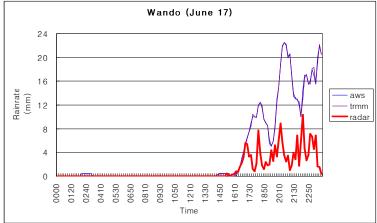


Fig. 9. (a) AWS rainfall distribution map, (b) Weather radar rain rate (2008. 6.17.).

마. 사례분석

본 사례는 남부지방을 중심으로 발생된 호우의 강우강도와 진도 기상레이더의 강우강도를 분석한 자료이다. 강우강도가 강약에 따라 지상강우량계와 기상레이더 의 강우강도가 약간의 차이가 나타남을 알 수 있다.





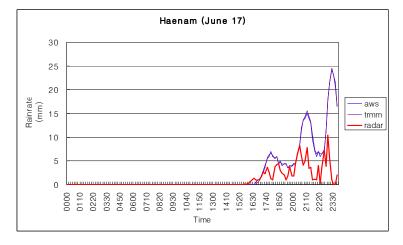


Fig.10. Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Jindo weather radar.

3) 2008년 6월 18일 사례

나. 일기도 및 위성영상 분석

가. 강수 현황 서해상의 저기압의 영향으로 중남부지방에 강한 호우가 나타냈다.

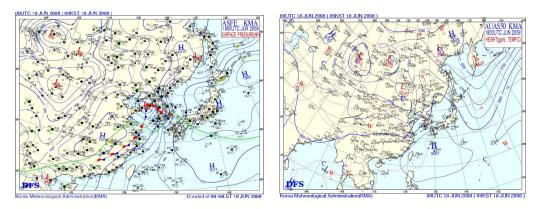


Fig. 11. Surface • 500hPa weather chart (2008. 6. 18.).

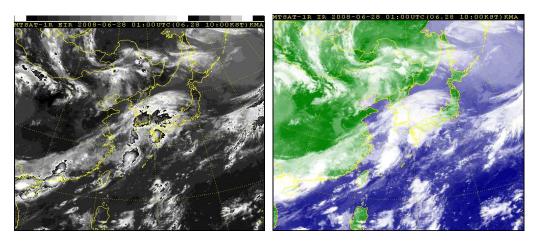


Fig. 12. MTSAT-1R enhanced infrared infrared image (2008. 6. 18.).

지상일기도에서는 서해북부상의 저기압은 500hpa 지향류를 따라 빠른 속도로 북동진하고 있으며, 이에 동반된 한랭전선은 빠르게 동진하면서 이어진 정체전선이동서방향으로 형성되어 중남부지방에 강한 호우가 발생하였다. 위성영상에서는 장마전선을 따라 적운계열 구름이 발달하여 우리나라로 계속 유입되고 있다.

라. AWS 강수량 및 레이더 영상

Fig. 13의 (a) AWS 강수 분포도와 (b) 기상레이더 영상에서 중남부지방에 강한호우가 발생하고 있다.

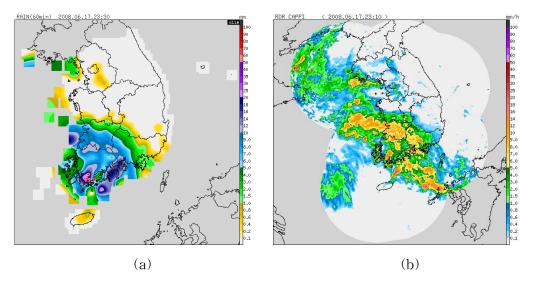
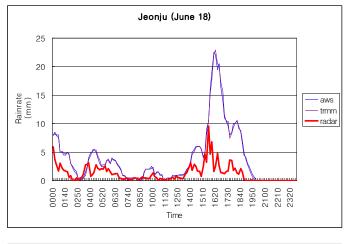
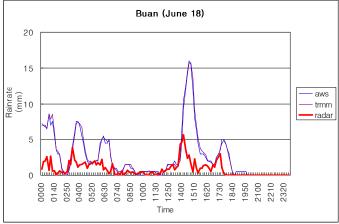


Fig. 13. (a) AWS rainfall distribution map, (b) Weather radar rainrate (2008. 6. 18.).

마. 사례분석

오성산, 진도, 구덕산 기상레이더와 사례분석지점의 강우강도를 비교한 자료이다. 지상강우량계 강우강도의 강약에 따라 기상레이더의 강우강도가 다소 차이를 나타내고 있다. 특히 지상강우량계의 강한 호우발생시 기상레이더의 강우강도가 많은 차이를 보이고 있다.





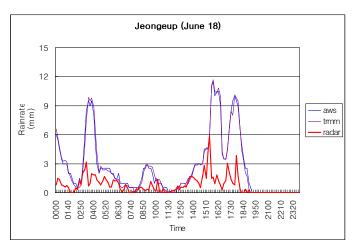
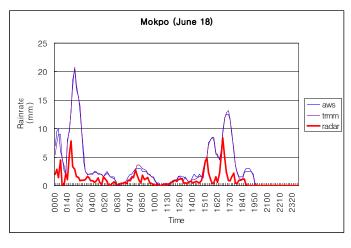
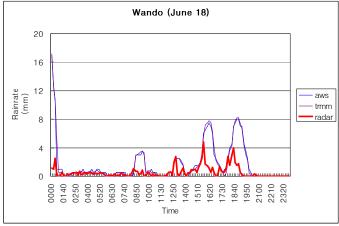


Fig.14. Compare of the rainfall intensity Between rain gauge and Osungsan weather radar.





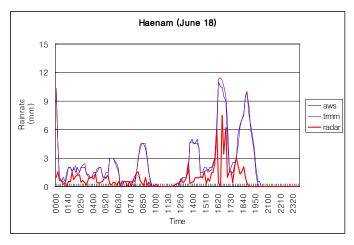
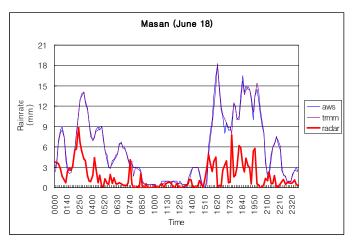
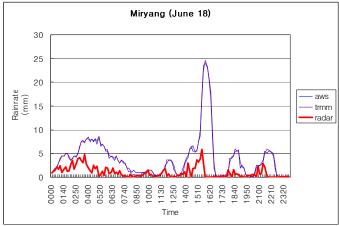


Fig.15. Compare of the rainfall intensity Between rain gauge and Jindo weather radar.





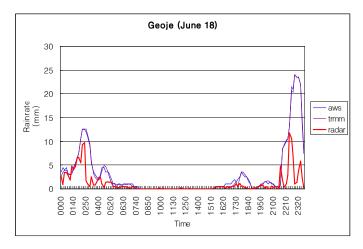


Fig.16. Compare of the rainfall intensity Between rain gauge and Kuducksan weather radar.

4) 2008년 6월 28일 사례

가. 강수 현황

남서쪽에서 접근하는 저기압과 장마전선의 영향으로 남부지방에 강한 호우가 발생하였다.

나. 일기도 및 위성영상 분석

지상일기도에서는 남서해상에서 접근하는 저기압이 위치하여 있으며 상층에 기압하이 형성된 상태이다. 이 저기압이 북동진함으로써 서·남해안와 경상도지방에 호우가 발생하였다. 위성영상에서는 북상하는 장마전선과 저기압의 영향으로 대류운이 발달하여 북동진하고 있으며 구름대로 조금씩 두꺼워지며 이동하고 있다.

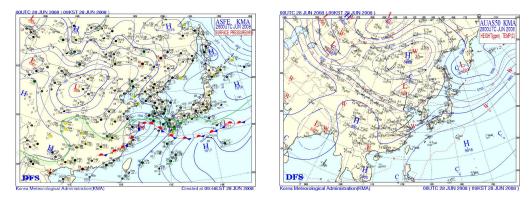


Fig. 17. Surface • 500hPa weather chart (2008. 6. 28.).

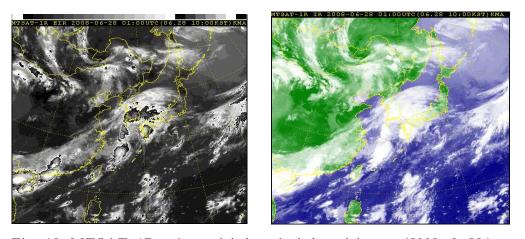


Fig. 18. MTSAT-1R enhanced infrared infrared image (2008. 6. 28.).

Fig. 19의 (a) AWS 강수 분포도와 (b) 기상레이더 영상에서 남서해안이 저기압 전면에서 강한 호우가 형성되고 있으며, 점차 북동진하므로서 경상도지방에도 많은 호우가 발생하였다.

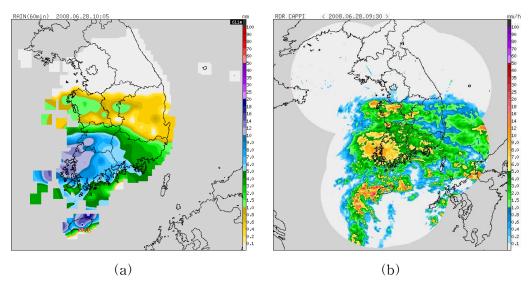
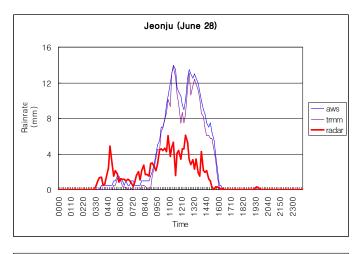
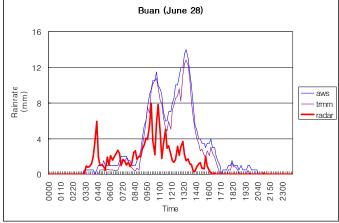


Fig. 19. (a) AWS rainfall distribution map, (b) Weather radar rainrate (2008. 6.28.)

마. 사례분석

저기압 전면에서 발생하는 집중호우의 강우강도는 기상레이더의 강우강도와 많은 차이를 보이고 있다. 하지만 구덕산 기상레이더의 사례에서 지속적으로 내리는 지상우량계의 강우강도와 기상레이더의 강우강도는 거의 비슷하게 나타나고 있다.





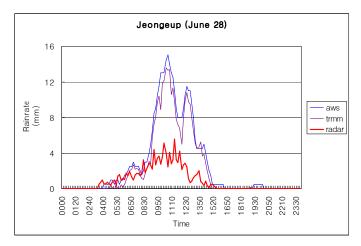
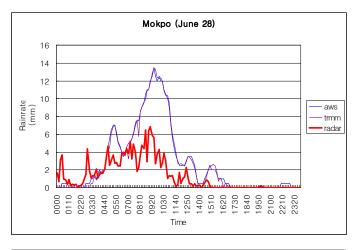
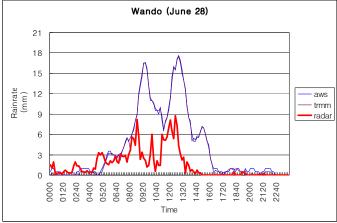


Fig.20. Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Osungsan weather radar.





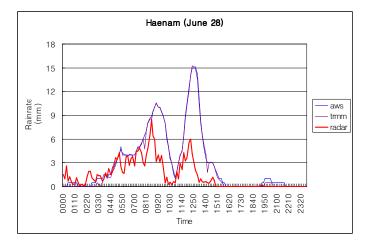
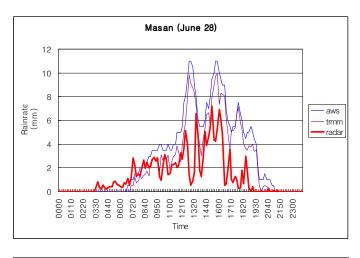
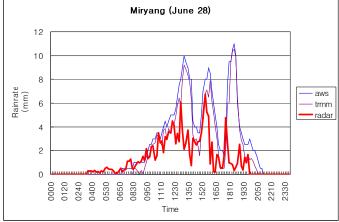


Fig.21. Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Jindo weather radar.





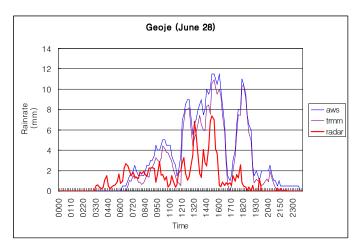


Fig.22. Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Kuducksan weather radar.

5) 2008년 7월 2일 사례

가. 강수 현황

서해상의 저기압과 장미전선의 영향으로 남부지방의 많은 양의 호우가 내렸다. 나. 일기도 및 위성영상 분석

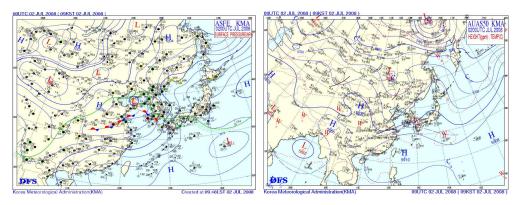


Fig. 23. Surface · 500hPa weather chart(2008. 7. 2.).

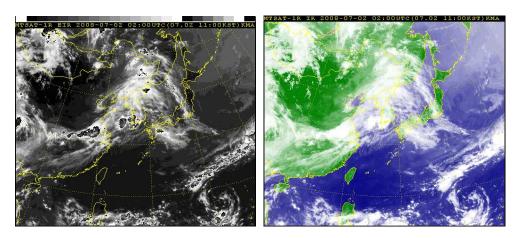


Fig. 24. MTSAT-1R enhanced infrared infrared image(2008. 7. 2.).

지상일기도에서는 서해상의 저기압과 장마전선의 영향으로 지속적인 수증기가 유입되고 있으며, 고층일기도에서는 고도장의 완만한 하강추세에 있어 호우에 영향을 주고 있다. 위성영상에서는 남부지방과 제주도로 장마전선에 동반된 대류운이 서해상에서 북동진해서 들어오고 있다.

Fig. 25의 (a) AWS 강수 분포도와 (b) 기상레이더 영상에서 남부지방에 강한호우가 나타났다.

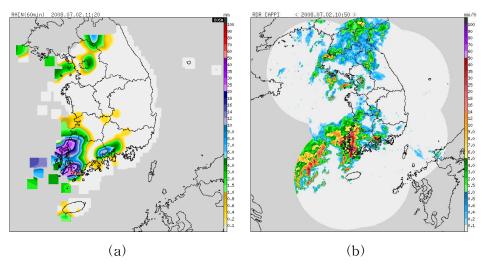
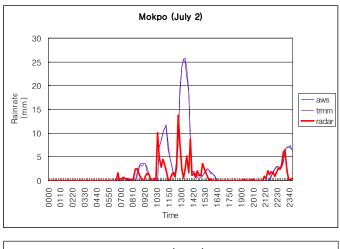
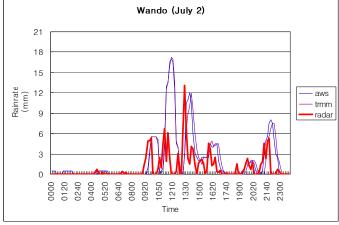


Fig. 25. (a) AWS rainfall distribution map, (b) Weather radar rain rate (2008. 7. 2.).

마. 사례분석

지상우량계 강우강도와 진도기상레이더 강우강도가 거의 비슷한 비율로 표출되고 있다.





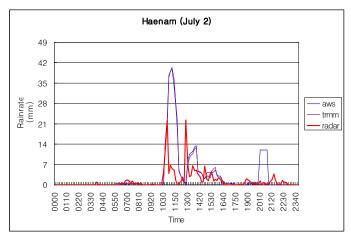


Fig.26. Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Jindo weather radar.

6) 2008년 7월 23일 사례

가. 강수 현황

느리게 이동하는 장마전선의 영향으로 전북지역을 중심으로 단시간 호우를 발생시켰다. 강수량은 전주 47.0mm, 부안 31.0mm, 23.5mm을 기록하였다.

나. 일기도 및 위성영상 분석

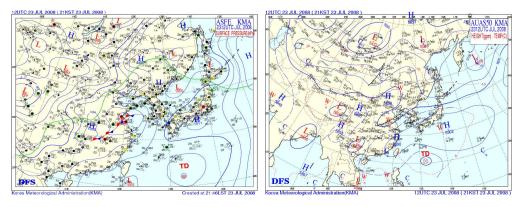


Fig. 27. Surface · 500hPa weather chart (2008. 7. 23.).

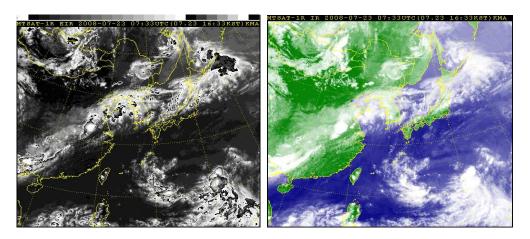


Fig. 28. MTSAT-1R enhanced infrared infrared image (2008. 7. 23.).

일기도에서 화남서쪽의 저기압을 중심으로 형성된 저기압과 상층의 단파골이 느리게 이동해 옴에 따라 형성되는 장마전선의 영향으로 서해안을 중심으로 한 중부지방에 단시간의 강한 호우가 발생하였다. 위성영상에서는 산둥반도의 저기압이 서해안으로 유입되고 서남해상의 남서기류가 유입되면서 전북서해안 및 내륙에 단시간 강한 구름대가 발생하였다.

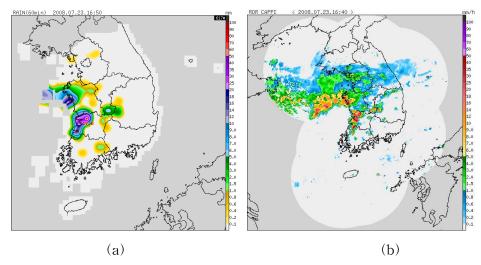


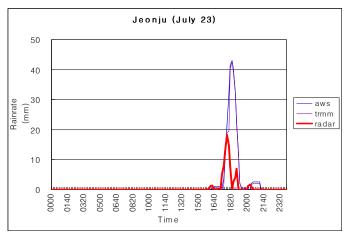
Fig. 29. (a) AWS rainfall distribution map, (b) Weather radar rain rate (2008. 7. 23.)

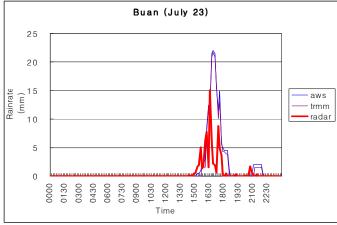
Fig. 29의 (a) AWS 강수 분포도와 (b) 기상레이더 영상에서 중부서해안을 중심으로 강한 호우가 발생하였다. 이 시스템이 점차 내륙으로 이동하여 중부내륙지방에도 단시간의 강한 호우를 나타냈다.

마. 사례분석

오성산 기상레이더을 중심으로 한 전주, 부안, 정읍지점의 사례이다.

오성산 기상레이더에서 관측된 강우강도와 지상우량계, Trmm-Gsp를 비교한 결과 단시간의 강한 호우에 있어서 비교적 많은 차이가 나타나고 있다.





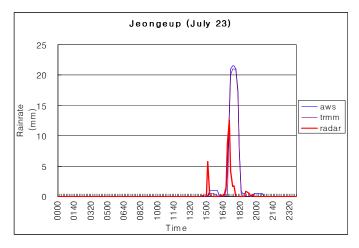


Fig.30. Compare of the rainfall intensity Between rain gauge and Osungsan weather radar.

7) 2008년 8월 15일 사례

가. 강수 현황

경상남도지역에 열대저압부(TD)의 영향으로 국지적으로 호우가 발생하였다.

나. 일기도 및 위성영상 분석

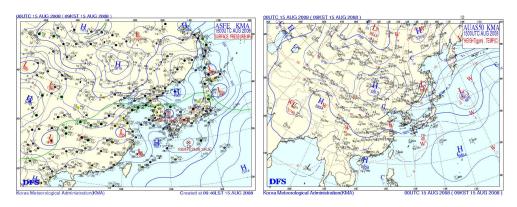


Fig. 31. Surface · 500hPa weather chart (2008. 8. 15.).

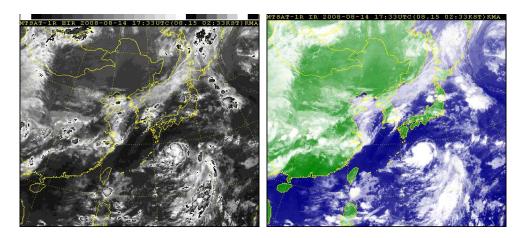


Fig. 32. MTSAT-1R enhanced infrared infrared image (2008. 8. 15.).

지상일기도에서는 열대저압부(TD)의 영향을 받아 부산지역을 중심으로 호우가 발생하였으며, 고층일기도에서는 고도장이 상승과 하강을 반복하는 패턴을 보이고 있다. 위성영상에서는 경상도지방을 중심으로 열대저압부(TD)에 동반된 구름을 영 향을 받고 있으며, 남해상에서 북동진함을 보여주고 있다.

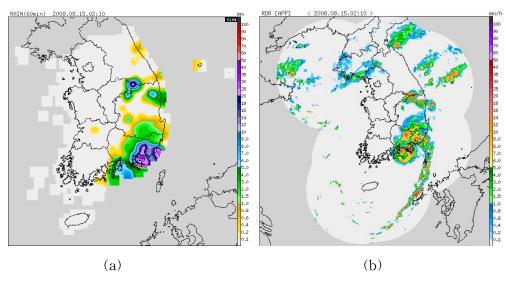
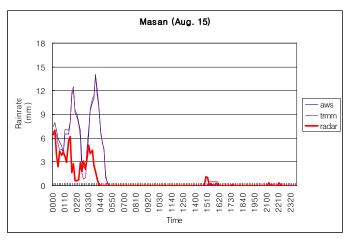


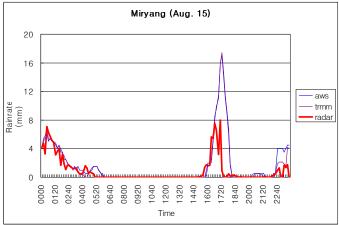
Fig. 33. (a) AWS rainfall distribution map, (b) Weather radar rainrate (2008. 8.15.).

Fig. 33의 AWS 강수 분포도와 기상레이더 영상에서 경상도남동해안와 내륙에서 호우가 발생하였다.

마. 사례분석

열대저압부(TD)에 의한 강한 호우발생 시 지상우량계의 강우강도와 기상레이더의 강우 강도가 많은 차이를 보이고 있다.





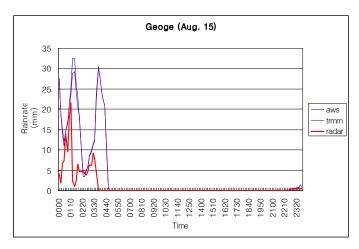


Fig.34. Compare of the rainfall intensity between rain gauge and Kuducksan weather radar.

제3장 결과의 해석

1. 사례분석 결과

각 지역별 기상레이더의 분석결과 지상우량계의 강우강도와 기상레이더의 강우강도가 많은 차이를 보이고 있다. 먼저 호우사례에서 30.0㎜이상 강수량을 기록한 날의 특징적인 모습은 저기압을 동반한 장마전선의 영향으로 집중호우가 발생한 경우가 대부분이었다. 또한 저기압전면에서 수 시간동안 집중적으로 강수가 발생한후 소멸되는 형태를 띠고 있었다.

기상레이더의 강우강도는 M-P관계식 $Z=200\ R^{1.6}$ 을 적용하여 산출하였는데 주로 충상형 강우에 적용하는 M-P관계식이므로 연구사례분석에서 나타난 저기압전면의 대류형 강수형태와는 다소 차이가 발생하였다. 사례분석에서 단시간 집중호우발생 시 기상레이더의 강우강도는 지상우량계의 강우강도를 비해 상당한 차이가나는 것으로 나타났다.

2. 각 기상레이더별 상관계수

본 연구에서는 각기 다른 기종의 기상레이더지점을 선정하여 장비별로 나타나는 특징적인 모습을 알아보기 위하여 일정거리의 지상강우량계 자료로부터 산출해 낸 강우강도와 기상레이더 강우강도의 상관계수를 산출하였다(Table 9~11).

기상레이더 지점별 특징을 보면 오성산기상레이더의 경우 상관계수의 편차가 비교적 적게 나타났으나, 구덕산기상레이더의 경우 상관계수의 편차가 크게 나타났다. 이는 각 기 다른기종의 장비별 고유의 특징과 지역별 강수형태와 호우시간이비교적 짧게 나타날 때 이러한 차이가 나타나는 것으로 판단된다(Fig. 35~37).

Table 9.	Correla	ation	coeffici	ent o	f Osur	ngsan	weathe	er rada	r.
$\overline{}$									_

Day Area	May 28	June 18	June 28	July 23
Jeonju	0.693	0.631	0.767	0.593
Buan	0.645	0.595	0.621	0.589
Jeongeup	0.703	0.581	0.837	0.424

Table 10. Correlation coefficient of Jindo weather radar.

Day Area	May 28	June 17	June 18	June 28	July 2
Mokpo	0.484	0.751	0.566	0.767	0.449
Wando	0.647	0.742	0.548	0.638	0.353
Haenam	0.645	0.645	0.506	0.706	0.448

Table 11. Correlation coefficient of Kuduksan weather radar.

Day Area	May 28	June 18	June 28	August 15
Masan	0.471	0.504	0.709	0.694
Miryang	0.229	0.340	0.644	0.612
Geoge	0.569	0.652	0.599	0.551

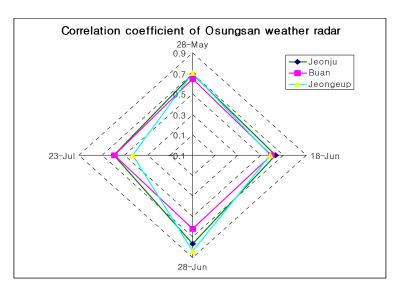


Fig. 35. Correlation coefficient of Osungsan weather radar.

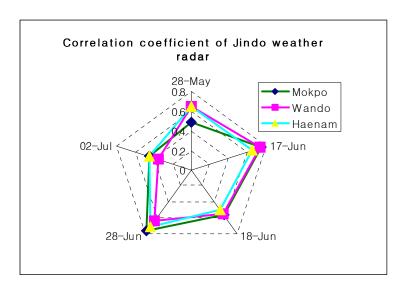


Fig. 36. Correlation coefficient of Jindo weather radar.

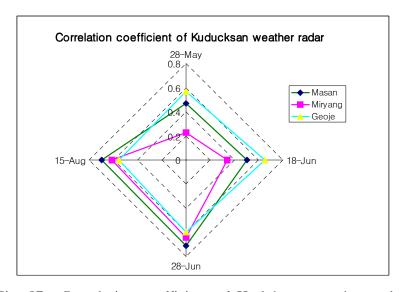


Fig. 37. Correlation coefficient of Kuduksan weather radar.

제4장 결 론

본 연구에서는 3개의 지역 기상레이더에서 반경 50km 전후의 관측지점을 선택한후 30mm이상의 호우가 발생한 날을 대상으로 지상우량계의 강우강도와 기상레이더의 강우강도를 산출하여 사례를 분석하였다.

분석한 결과 전선을 동반한 저기압으로 인하여 집중호우가 발생할 때 기상레이더의 M-P관계식(Z-R) Z=200 $R^{1.6}$ 을 적용하여 강우강도를 적용하면 상당한 차이가 발생함을 알 수가 있었다. 또한 지상강우량계의 강우강도가 강할 때 기상레이더 강우강도와의 차이가 더 크게 나타남을 알 수가 있었다. 이와 관련하여 집중호우 발생 시 강수특성에 맞는 Z-R관계식의 연구를 보다 활성화 할 필요가 있겠다.

또한 기상레이더의 CAPPI자료의 고도를 다양화하여 지상강우량의 강우강도와 가장 상관관계가 높은 고도의 관측자료를 활용한다면 기상레이더를 통한 정량적인 강우량 추정에 도움이 될 것이다.

분석결과에 따르면, 전선을 동반한 저기압을 서해상 또는 서남해상으로 접근할때 기상레이더를 통한 M-P관계식(Z-R) Z= 200 R^{1.6}을 적용하는 강우강도보다 강한 호우가 발생할 확률이 높으므로 기상실황예보(nowcasting) 에 참조해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 남경엽,송병현,서은경,최지혜,이정석,남재철, 2003, 청주부근에서 발생한 여름철강우의 레이더-지상강우량계 관계에 관한 연구. 한국기상학회지, 39(4), 431-440.
- 석미경,남경엽,김영화,오성남, 2005, WPMM을 이용한 레이더 반사도로부터 정량적 레이더 강우강도의 추정. 한국기상학회지, 41(1), 123-138.
- 엄원근, 1998, 레이더기상학, 영재사, 9, 155-158
- 유철환,이동인,장민,김효경,김정희,김경익, 2005, Variation of Rainrate and Radar Reflectivity in Busan Area and Its Measurement by clouds Type. 한국기상 학회지, 41(2), 191-200.
- 정성화,김경익,하경자, 2005, 지상우량계의 강우강도를 이용한 개선된 레이더 강우강도의 실시간 추정. 한국기상학회지, 41(5), 751-762.
- Atlas. D., D. Rosenfeld, and D. B. Wolff, 1990, Climatologically tuned reflectivity-rain rate relations and links to area time integrals. *J. Appl. Meteor*, 29, 1120-1139.
- Austin, P. M, 1987, Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall. *Mon, Wea. Rev*, 115, 1053~1070.
- Marshall, T. S., and W. M. K. Palmer, 1948, The distributions of raindrops with size. *J. Meteor.*, 5, 165–166.
- Rosenfeld, D., B. E. Wolff, and D. Atlas, 1993, General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate. *J. Appl. Meteor.*, 32, 50-72.
- Wilson, W. L. and E. A. Brandes, 1979, Radar Measurement of rainfall. *Bull. Amer. Mereor. Soc.*, 60, 1048–1058

감사의 글

바쁜 직장생활속에서 나도 잘 할수 있을까 하고 입학한 대학원에서 벌써 졸업을 앞두고 본 논문이 완성되었기에 글로서 저의 마음을 대신하고자 합니다.

먼저 기상관측과 예보업무를 다루는 현장에 일하면서도 체계적인 기상이론이 부족한 저에게 학문에 대한 열망과 도전할 수 있는 용기를 주시고 이끌어주신 지도 교수 류찬수 교수님께 한없는 존경과 감사를 드립니다.

심사를 맡아서 학문적인 지도와 격려를 해주시고 세심하게 지도해주신 존경하는 정효상 교수님, 이종호 박사님, 지대한 관심으로 많은 조언과 격려를 아끼지 않으 시신 오완탁 박사님께도 깊은 감사의 마음을 전합니다.

기상레이더의 자료수집을 도와주신 박은주, 석미경님께도 감사하고 늘 행운과 건 강이 함께하길 기원합니다.

끝으로 언제나 변함없는 사랑으로 지켜봐 주시는 어머님, 멀리서 늘 지켜봐주시는 장인어른과 장모님, 뒤늦게 시작한 공부를 계속할 수 있도록 용기를 실어준 아내 공수현과 사랑하는 큰 딸 소정과 귀여운 둘째딸 소연에게도 깊은 고마움을 전하고 싶습니다.

이 작은 결실을 맺기까지 여러 가지로 도와주신 모둔 분들께 다시 한번 감사드리며 앞으로 기상현장에서 더욱 발전된 모습을 보여드릴 것을 약속드리며 열심히 노력하겠습니다.

2008 년 12 월

임 재 확 올림

저작물 이용 허락서							
학 과	대기과학과	학 번	20067490	과 정	석 사		
성 명 한글:임재환 한문:林載桓 영문:Lim Jae Hwan							
주 소 광주광역시 북구 운암2동 124-7 일신가든맨션 505호							
연락처 E-MAIL : ljhmmm@kma.go.kr							
한글 : 지상우량계와 기상레이더 강우강도의 비교연구							
논문제목 영어 : A Comparative study of the Rainfall Intensity between Ground Rain Gauge and Weather Radar							

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제,

기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함

2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만,

저작물의 내용변경은 금지함.

- 3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
- 4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가

없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.

5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는

1개월 이내에 대학에 이를 통보함.

6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한

권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음

7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의

전송 • 출력을 허락함.

동의여부 : 동의(○) 반대()

2008년 12월 2일

저작자: 임재환 (서명 또정재)

조선대학교 총장 귀하