

이 학 석 사 학 위 논 문

태풍 RAMMASUN과 RUSA 통과시 진도
S-band 도플러레이더의 강우량 추정

지도교수 이 동 인

이 논문을 학위논문으로 제출함



2003 년 8 월

부경대학교 대학원

환경대기과학과

양 정 현

양정현의 이학석사 학위논문을 인준함

2003 년 6월 일

주 심 이학박사 한 영 호



위 원 이학박사 이 동 인



위 원 이학박사 오 재 호



Contents

<u>CHAPTER</u>	<u>PAGE</u>
List of Table	ii
List of Figures	iii
Abstract	1
1. 서 론	3
2. 자료 및 분석 방법	5
2.1 자료	5
2.2 레이더 강우량 분석	22
3. 결과 및 고찰	32
3.1 사례지점 z-R 산정	32
3.2 태풍 라마순과 루사의 z-R산정	44
4. 결 론	56
참고문헌	57
감사의 글	59

LIST OF TABLES

Table 1. Specification of JINDO S-band Doppler radar	6
Table 2. List of AWS Station for the rainfall analysis	12
Table 3. The determined value of a and b in each station	37
Table 4. Meteorological factors at each station	45
Table 5. The values of a and b coefficient during passing through typhoon RAMMASUN and RUSA	54

LIST OF FIGURES

Figure 1. Photograph of JINDO S-band Doppler radar	7
Figure 2. Attack course of typhoon RAMMASUN	8
Figure 3. Same as Figure2 but for typhoon RUSA	9
Figure 4. Observation sites of JINDO S-band Doppler radar and AWS raingages	11
Figure 5. Elevation angle of JINDO S-band Doppler radar	13
Figure 6. Rainfall intensity(mm/hr) of Yeongam station during typhoon RAMMASUN is passing	15
Figure 7. Rainfall intensity(mm/hr) of Yeongam station during typhoon RUSA is passing	15
Figure 8. Same as Figure 6 but for Jaeun station	16
Figure 9. Same as Figure 7 but for Jaeun station	16
Figure 10. Same as Figure 6 but for Hajodo station	17
Figure 11. Same as Figure 7 but for Hajodo station	17
Figure 12. Same as Figure 6 but for Chujado station	18
Figure 13. Same as Figure 7 but for Chujado station	18
Figure 14. Same as Figure 6 but for Yuchi station	19
Figure 15. Same as Figure 7 but for Yuchi station	19
Figure 16. Same as Figure 6 but for Gurye station	20

Figure 17. Same as Figure 7 but for Gurye station	20
Figure 18. Same as Figure 6 but for Hwasunbok station	21
Figure 19. Same as Figure 7 but for Hwasunbok station	21
Figure 20. Comparison between raw reflectivity and AWS(731) rainrate	24
Figure 21. Comparison between mean reflectivity and AWS(731) rainrate	24
Figure 22. Same as Figure 20 but for AWS(714) rainrate	25
Figure 23. Same as Figure 21 but for AWS(714) rainrate	25
Figure 24. Same as Figure 20 but for AWS(718) rainrate	26
Figure 25. Same as Figure 21 but for AWS(718) rainrate	26
Figure 26. Same as Figure 20 but for AWS(724) rainrate	27
Figure 27. Same as Figure 21 but for AWS(724) rainrate	27
Figure 28. Same as Figure 20 but for AWS(778) rainrate	28
Figure 29. Same as Figure 21 but for AWS(778) rainrate	28

Figure 30. Same as Figure 20 but for AWS(709) rainrate	29
Figure 31. Same as Figure 21 but for AWS(709) rainrate	29
Figure 32. Same as Figure 20 but for AWS(755) rainrate	30
Figure 33. Same as Figure 21 but for AWS(755) rainrate	30
Figure 34. Series of radar image at typhoon RAMMASUN in 2002	33
Figure 35. Same as Figure 34 but for typhoon RUSA in 2002	34
Figure 36. z-R relationship at Yeongam station(731)	38
Figure 37. Same as Figure 36 but for Jaeun station(714)	38
Figure 38. Same as Figure 36 but for Hajodo station(718)	39
Figure 39. Same as Figure 36 but for Chujado station(724)	39
Figure 40. Same as Figure 36 but for Yuchi station(778)	40
Figure 41. Same as Figure 36 but for Gurye station(709)	40

Figure 42. Same as Figure 36 but for Hwasunbok station(755)	
.....	41
Figure 43. z-R relationship at total station	41
Figure 44. Comparison between radar rainrate and AWS rainrate	
at Yeongam station(731)	47
Figure 45. Same as Figure 44 but for Jaeun station(714)	
.....	48
Figure 46. Same as Figure 44 but for Hajodo station(718)	
.....	49
Figure 47. Same as Figure 44 but for Chujado station(724)	
.....	50
Figure 48. Same as Figure 44 but for Yuchi station(778)	
.....	51
Figure 49. Same as Figure 44 but for Gurye station(709)	
.....	52
Figure 50. Same as Figure 44 but for Hwasunbok station(755)	
.....	53
Figure 51. z-R relationship at typhoon RAMMASUN	55
Figure 52. Same as Figure 51 but for typhoon RUSA	55

Rainfall Estimation of JINDO S-band Doppler Radar during Attack of Typhoon RAMMASUN and RUSA

Jeong Hyeon Yang

Department of Environmental Atmospheric Sciences,
Graduate School, Pukyong National University

Abstract

In domestic radar C-band radars were mainly used in rainfall estimation study as compared with S-band radar in Korea.

In this study, radar z-R relationship and radar rainfall estimation were accomplished using reflectivity of Jindo S-band Doppler radar and AWS rainfall amount during typhoon RAMMASUN and RUSA were passing through Korean peninsula in 2002.

Mean z-R relationship at total 7 stations were as $z=27R^{1.4}$ and its values were different at each station.

The z-R relationship was $z=13.1R^{1.01}$ value at typhoon RAMMASUN and was $z=57.4R^{1.62}$ at typhoon RUSA relatively.

Corrected z-R relation were well coincident with AWS rain gauge rainrates, however $z=200R^{1.6}$ which is Korean z-R relation did not so much expressed at the estimation of radar rainrates.

Depending on an observation site, AWS rainrates values roughly had a different one because of corrected z-R relation and S-band

Doppler radar's range gating. In addition Representative selection method is needed at radar reflectivities around AWS sites.

In the correlation between z - R constant a and b , typhoon RUSA had more convective precipitation type than typhoon RAMMASUN.

Therefore, S-band Doppler radar of Jindo had many different z - R relations at various precipitation events. Especially typhoon like a heavy rainfall are hard to estimate rainrates more quantitatively.

In RAMMASUN and RUSA typhoon, a and b values of z - R are from 12.2 to 59.4 and 1.08 to 1.82 and they have different values by various wind speed, too.

1. 서 론

기상레이더는 수백 km 반경내에서 대기의 상태를 수초의 시간 간격과 수백m의 공간 분해능으로 3차원 관측할 수 있는 적합한 장비이며(오현미 등, 2001) 집중호우나 뇌우등과 같이 예측이 곤란한 국지적인 기상 상태를 보다 신속하고 정확하게 파악하기 위해서는 없어서는 안될 중요한 도구이다. 세계 대부분의 나라는 악기상을 탐지하고 단시간 예보를 실시하기 위하여 레이더 관측망을 구성하고 이로부터 많은 자료를 얻고 있다(Collier, 1989).

강수량 산출에 관한 레이더의 국외 연구를 보면 Marshall and Palmer (1948)는 Z는 R의 함수인 입자크기분포에 의존됨을 밝혔고 Fujiwara (1965)는 Z-R관계식에서 상수 a와 b의 변동성에 관해 연구하여 강수의 대류성질이 증가할수록 상수 a는 증가하고 b는 감소하는 경향이 있음을 밝혔다.

Joss *et al.*(1969)은 강수입자 직경분포를 측정할 수 있는 Disdrometer를 이용하여 Z-R관계식을 산출하는 새로운 방법을 제시하였다.

Austin(1987)은 강수의 유형에 따라 상수 a를 이슬비에 대해 약 100, 넓게 퍼진 층상운에 대해 200에서 300, 뇌우에 대해 약 400정도의 값을 적용할 수 있음을 제시하였다.

Tokay and Short(1996)는 열대지방에서 Disdrometer로부터 계산된 Z-R관계식에서 강수량이 10mm/hr보다 작을 경우에는 같은 강수량에 대해 층상운에서 계산된 반사도(Z)는 대류성 강우에서 관측된 반사도(Z)보다 약 두 배 정도 크다는 것을 조사하여 강수유형에 따라 Z-R관계식을 다르게 적용하여야 함을 밝혔다.

국내 기상레이더를 이용한 강수량 산출에 관한 연구는 Radar Echo에 의한 대류성 강수분포의 특성연구(한국기상학회지 1977), 이동식 기상레이더 영상 특성 분석을 통한 강수량 계산(기상연구소 1987), 레이더 에코로 계산된 강수량의 정확도 평가 연구(1989. 기상연구소), 레이더를 이용한 단시간 강우예측 결과의 정성 및 정량적인 평가 I(1990. 기상연구소), 레이더를 이용한 단시간 강우예측 결과의 정성 및 정량적인 평가 II(1991. 기상연구소)등으로 연구가 이루어 졌다.

이정환(1994)은 레이더자료와 관측소 강수량 자료를 이용하여 강수량 분석과 이동벡터를 계산하여 검증하였고, 서애숙 등(1995)은 예코강도별 레벨 기준값 결정하는데 각 레이더별 적정 고도각을 기본 자료로 하여 새로운 합성 알고리즘을 개발하였고, 정순화 등(1996)은 AWS와 레이더 관측소의 기상관측을 통하여 적합 강수량 산정 방법을 제시하고 강우역의 추정, 강우역의 증감 예측과 실측 및 예측 강우량을 기존 방법과 비교하여 유역 강수량 예측 기법을 개선하였으며, 임규호 등(1996)은 레이더 에코와 관측소 강수량 자료를 합성하여 강수역의 이동을 조사한 바 있다.

그러나 지금까지 국내 연구는 C-band를 이용한 연구가 많았으며 S-band를 이용한 연구는 거의 없고, 특히 여름철 집중호우를 야기하는 태풍의 레이더 강수량 추정 연구는 적은 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 2001년 진도에 도입된 S-band 도플러레이더의 강수량 추정을 위하여 2002년도 태풍 RAMMASUN과 RUSA발생시 S-band의 z-R계수를 산출하여 각각의 태풍의 강수특성을 알아보았다.

2. 자료 및 분석방법

2.1 자료

본 연구에서 사용한 자료는 진도에 설치된 S-band 레이더 자료와 진도레이더의 유효Range내의 AWS(Automatic Weather Station) 매분 자료를 이용하였다.

진도레이더는 진도 침찰산 해발 476.6m의 높이에 34°28'N126°19'E에 위치하고 있으며 2001년 8월부터 관측을 개시하였다(Figure 1).

진도레이더의 제원은 Table 1과 같으며, 그 외형은 Figure 1에 나타내었다.

진도레이더의 최대탐지거리는 480km, 유효탐지거리는 240km이고 빔 폭은 1.0degree이며 PPI(Plan Position Indicator)관측을 하고 있다.

레이더 강우량 분석을 위한 유효Range내의 지점별 AWS는 50km에서 60km 영역의 범위에서 레이더중심으로부터 북서, 남서, 남쪽방향으로 위치한 3개 지점과 육상으로 100 ~ 110km에 위치한 북동방향으로 2개 지점을 택하였다.

사례는 2002년 7월 5일과 8월 31일 태풍 RAMMASUN과 RUSA가 우리나라를 통과한 집중 호우기간중 진도레이더의 반사도(dBZ)를 이용하여 z-R계수를 산출하고 각각 비교분석하였다.

태풍의 이동경로를 Figure 2,3에 나타내었는데 태풍 RAMMASUN은 7월 2일 일본 오키나와섬 SSE방향 약 670km해상에서 중심기압965hpa, 최대풍속 36m/s을 유지하며 태풍으로 발달하면서 28m/h로 북서진하다가 7월 3일 일본 오키나와섬 SW방향 약 370km 해상에서 중심기압 950hpa, 최대풍속 44m/s로 진행속도 23km/h로 서북서진하면서 우리나라 쪽으로 방향을 잡았고 7월 4일 제주도 SSW방향 약 870km부근 해상에서 945hpa최대풍속 44m/s로 진행속도 16km/h로 북북서진하였다.

Table 1. Specification of JINDO S-band Doppler radar

Description	Values
Model	Meteor1500 SLP10
Transmitter type	Klystron
Frequency(MHz)	2,890
Peak power(KW)	750KW
Pulse width	0.85 μ s~2.5 μ s
PRF	250~1,200HZ
Receiver Dynamic range	95dB
Antenna Diameter	8.5m
Antenna Beam width	1°
Antenna Gain	44.5dB
Antenna Height	494.4m

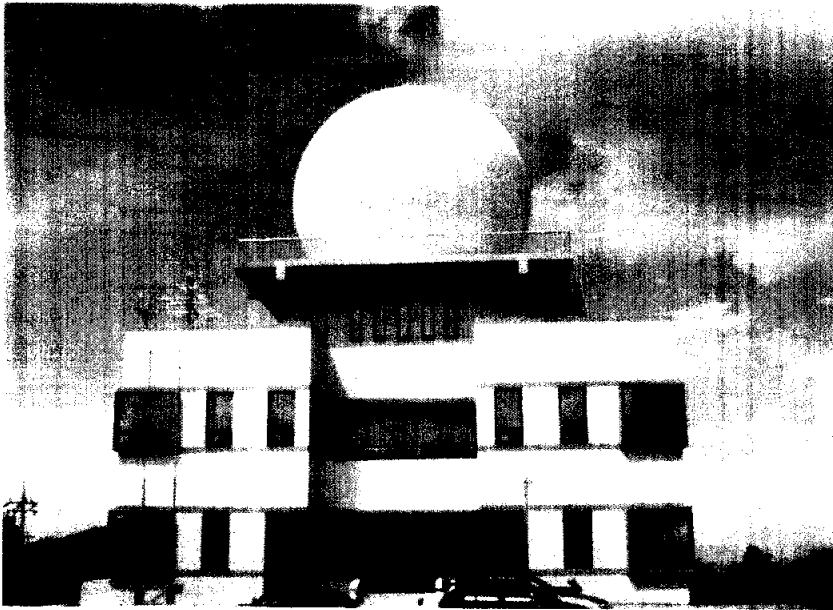


Figure 1. Photograph of JINDO S-band Doppler radar

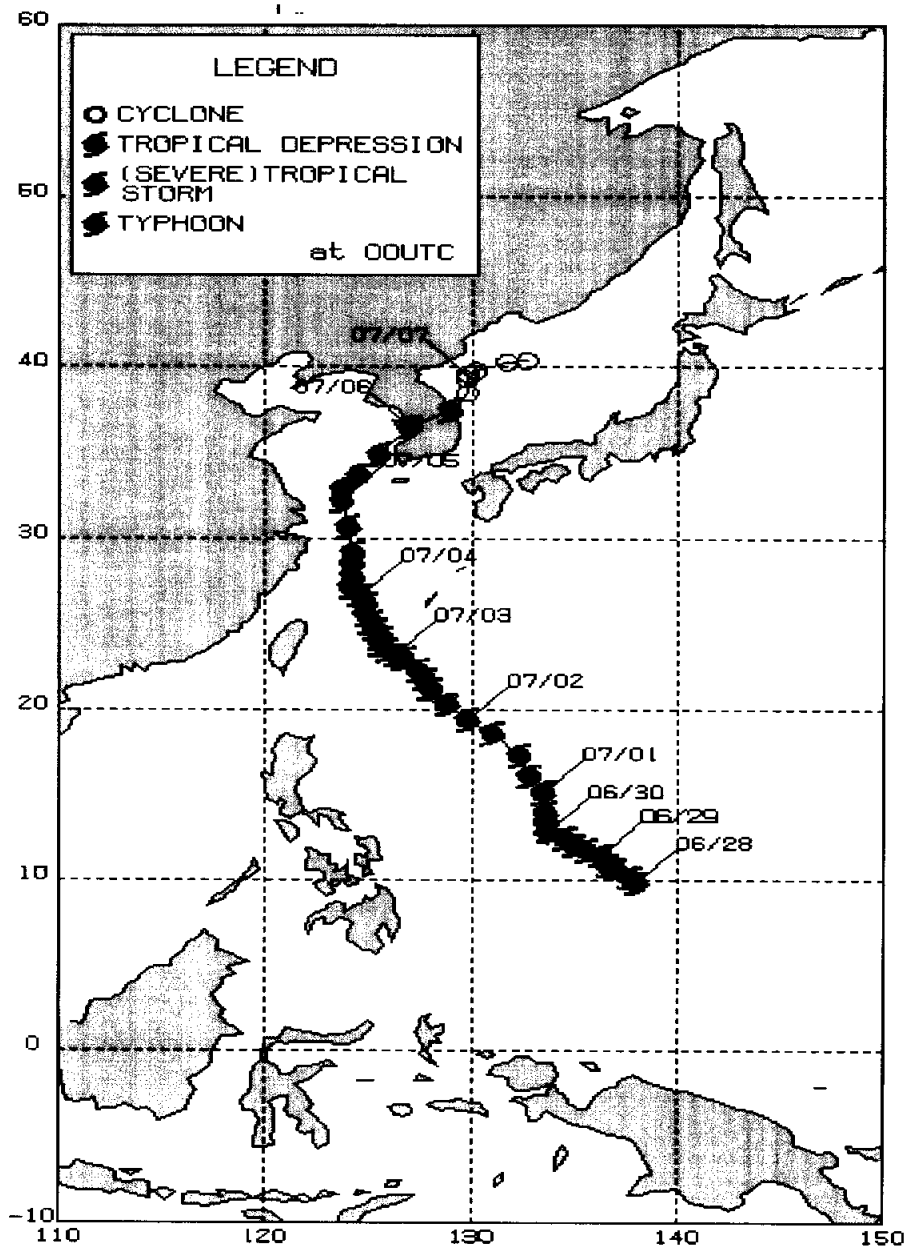


Figure 2. Attack course of typhoon RAMMASUN

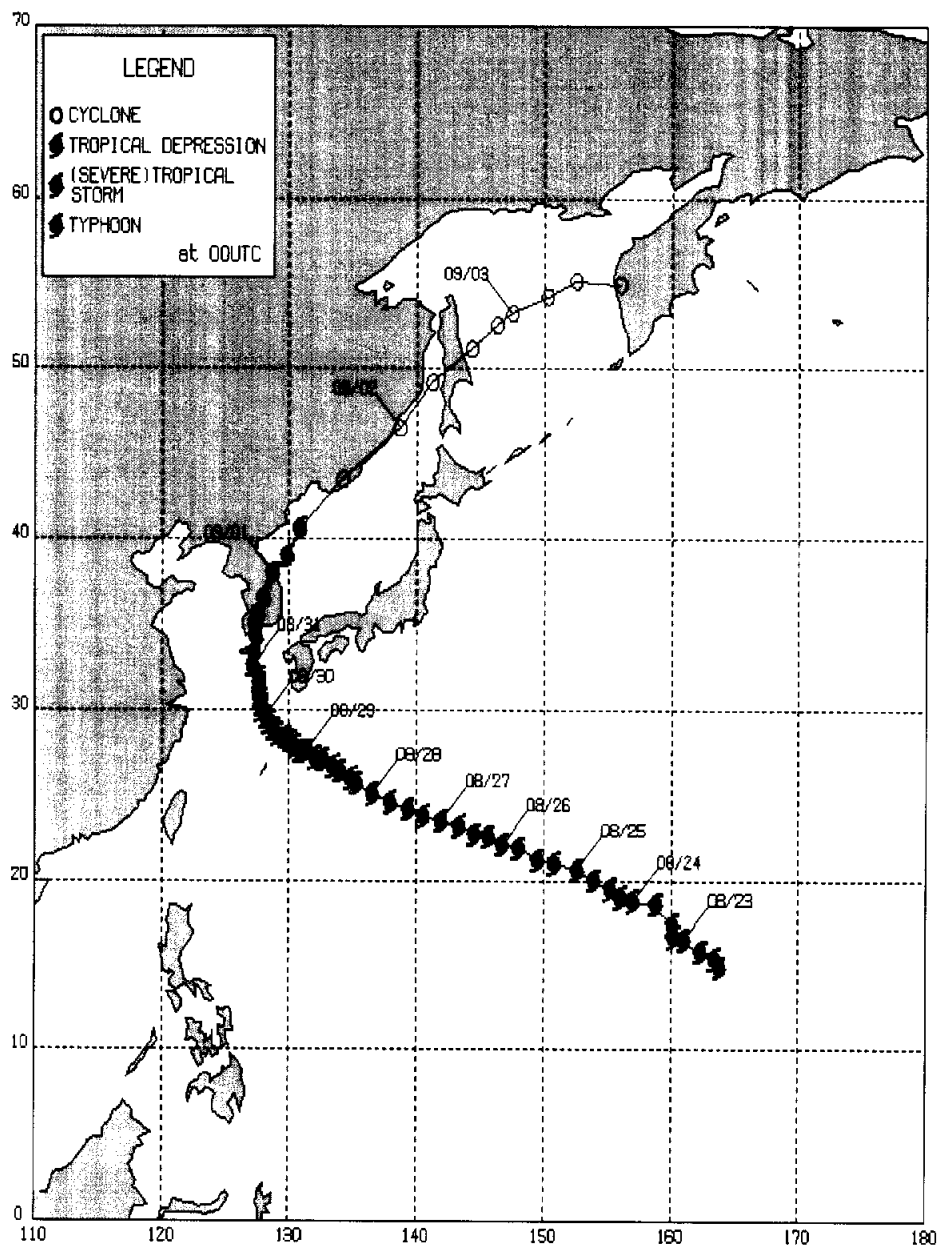


Figure 3. Same as Figure 2 but for typhoon RUSA

7월 5일 07시부터 7월 6일 21시 저기압으로 태풍일생을 마칠때까지 중심기압 960hpa, 최대풍속 36m/s로 우리나라 전역에 직접적인 영향을 미쳤다.

태풍 RUSA는 8월 27일 일본 오키나와섬 SE방향 약 1,300km해상에서 중심기압 955hpa, 최대풍속 39m/s로 진행속도 24m/h를 유지하며 서진하다가 8월 28일 일본 오키나와섬 ESE방향 약 900km해상에서 중심기압 955hpa, 최대풍속 39km/s로 진행속도 25km/h로 서북서진하다가 8월 29일 일본 가고시마 SSE방향 약 450km해상에서 중심기압 950hpa, 최대풍속 41m/s로 진행속도 24m/h로 서북서진하면서 우리나라쪽으로 방향을 잡았고 8월 30일 일본 가고시마 SW방향 약 350km해상에서 중심기압 950hpa, 최대풍속 36m/s로 진행속도 17m/h를 유지하며 계속 서북서진하면서 우리나라 쪽으로 방향을 잡았고 8월 31일에서 9월 1일 15시 열대저압부로 태풍이 일생을 마칠때 까지 중심기압 950hpa, 최대풍속 38m/s로 우리나라 전역에 직접적인 영향을 미쳤다.

레이더 강우량 분석을 위한 진도레이더와 사례지점별 AWS가 위치한 모습을 Figure 4에 나타내었고 AWS지점별 위치, 레이더 사이트에서 거리 그리고 방위각은 Table 2에 나타내었다.

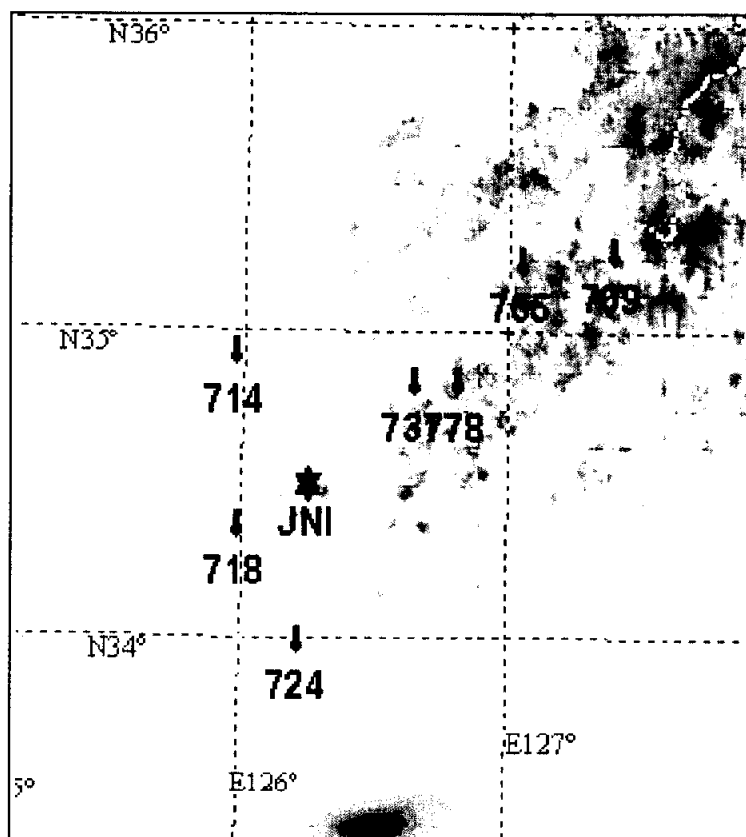


Figure 4. Observation sites of JINDO S-band Doppler(★)
radar and AWS raingages(↓)

Table 2. List of AWS Station for the rainfall analysis.

Station	Station number	Latitude	Longitude	Distance from Radar site (Km)	Azimuth
Yeongam	731	34°48′	126°43′	51.7	45.0°
Jaeun	714	34°53′	126°03′	53.1	337.5°
Hajodo	718	34°17′	126°03′	50.9	229.0°
Chujado	724	33°57′	126°18′	56.9	180.0°
Yuchi	778	34°47′	126°53′	62.8	60.0°
Gurye	709	35°11′	127°11′	111.0	45.0°
Hwasunbok	755	35°10′	127°07′	106.2	45.0°

진도레이더의 관측 고도각의 범위는 Figure 5에 나타내었는데 금번 조사에서는 고도각 0.19° 의 PPI(Plan Position Indicator)로 관측한 레이더자료를 활용하였다.

레이더 강우관측을 위하여 각 지점에서 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 간격의 Grid를 9개 격자점으로 하고 에코가 관측된 격자점의 반사도값 중에서 중심 Grid에서 가장 근접한 격자점의 반사도값을 구하여 레이더강우량 관측값에 적용하였다.

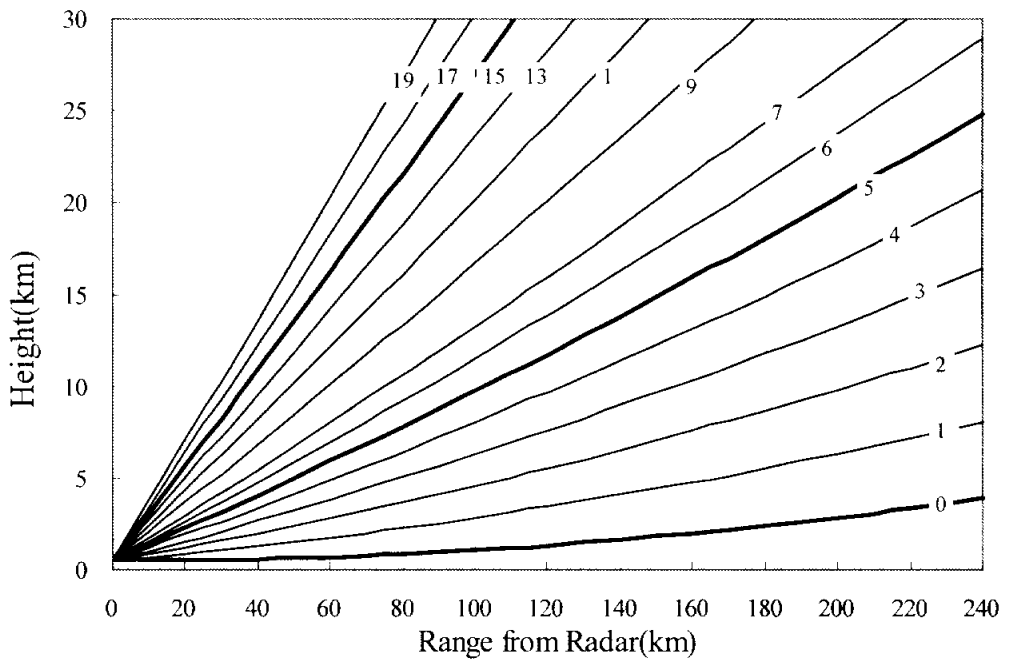


Figure 5. Elevation angle of JINDO S-band Doppler radar

Figure 6~19는 기간동안 AWS 지점별 일별 총 강우량을 나타내었는데 태풍 RAMMASUN이 통과할때가 78.5mm에서 118.5mm가 관측되었고 태풍 RUSA가 통과할 때는 45.5mm에서 258.0mm가 관측되었다.

태풍 RAMMASUN이 통과할 때의 7월 5일의 경우 각 지점별 일별강우율의 분포는 0.5mm/hr에서 16.5mm/hr의 범위로 나타났고, 평균 일별강우율은 3.9mm/hr이었으며 태풍 RUSA가 통과할 때의 8월 31일의 경우 일별강우율의 분포는 0.5mm/hr에서 45.5mm/hr의 범위로 나타났고, 평균 일별강우율은 5.3mm/hr였다.

태풍 RAMMASUN인 경우 진도레이더에서 남서방향인 자은(714)지점과 북서방향인 하조도(718)지점에서 16.5mm/h로 최대강우량이 관측되었고 태풍 RUSA인 경우 진도레이더에서 북동방향으로 100km이상 떨어진 구례(709)지점과 화순북(755)지점에서 각각 45.5mm/h와 41.5mm/h가 관측되었다.

지점별 태풍 RAMMASUN인 경우 최대강우율을 보면 영암(731) 15.5mm/h, 자은(714) 16.5mm/h, 하조도(718) 16.5mm/h, 추자도(724) 15.0mm/h, 유치(778) 14.5mm/h, 구례(709) 12.0mm/h, 화순북(755) 12.5mm/h가 관측되었고 태풍 RUSA인 경우 영암(731) 19.5mm/h, 자은(714) 10.5mm/h, 하조도(718) 6.5mm/h, 추자도(724) 12.5mm/h, 유치(778) 20.5mm/h, 구례(709) 45.5mm/h, 755(화순북) 41.5mm/h가 관측되었다.

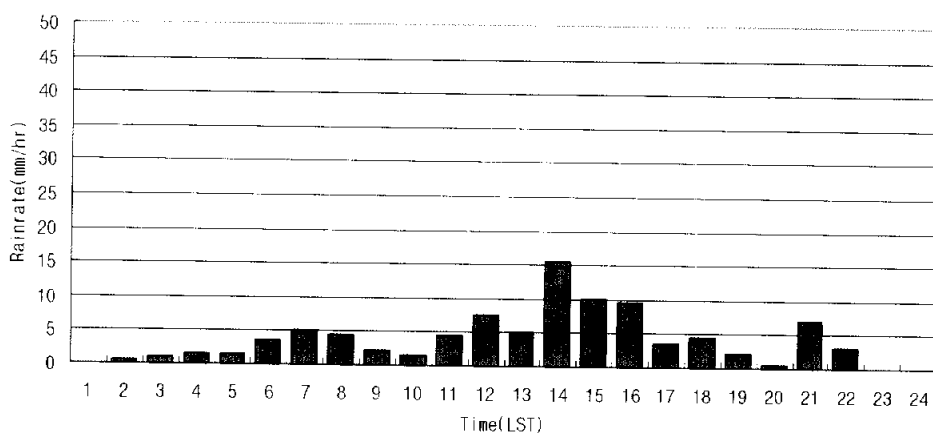


Figure 6. Rainfall intensity(mm/hr) of Yeongam station during typhoon RAMMASUN is passing.

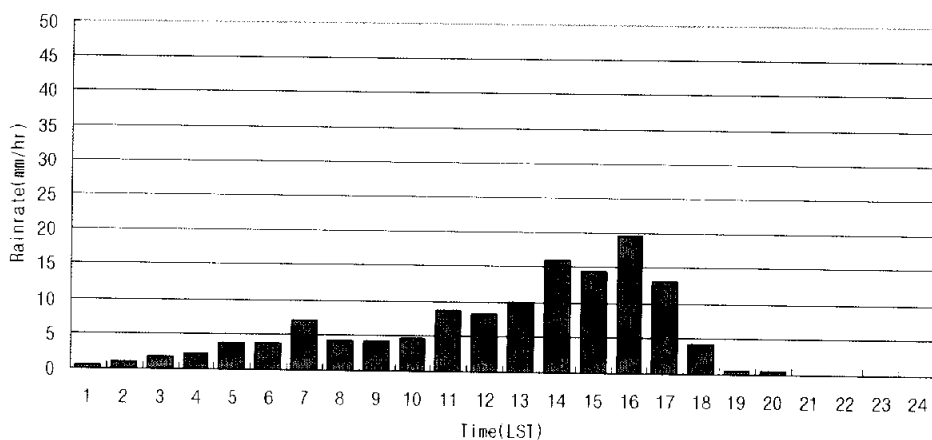


Figure 7. Rainfall intensity(mm/hr) of Yeongam station during typhoon RUSA is passing.

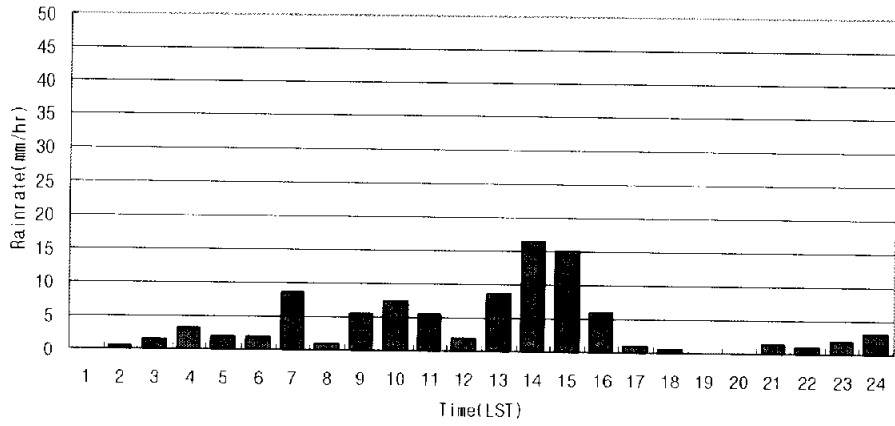


Figure 8. Same as Figure 6 but for Jaeun station

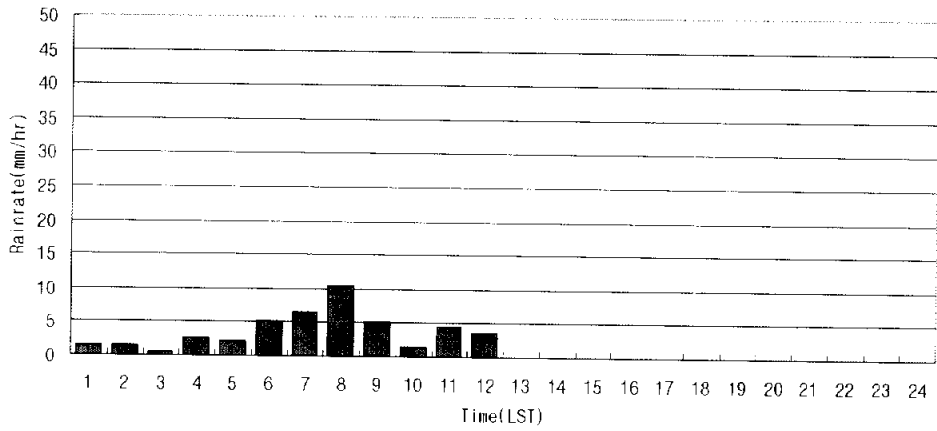


Figure 9. Same as Figure 7 but for Jaeun station

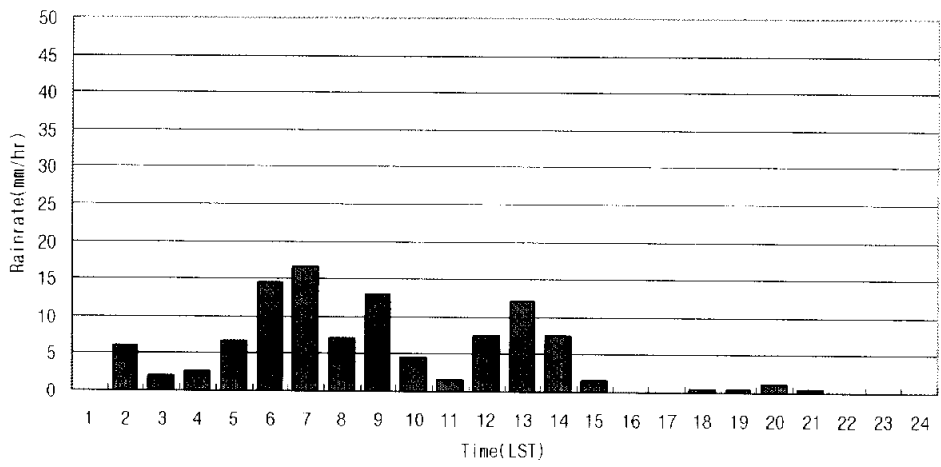


Figure 10. Same as Figure 6 but for Hajodo station

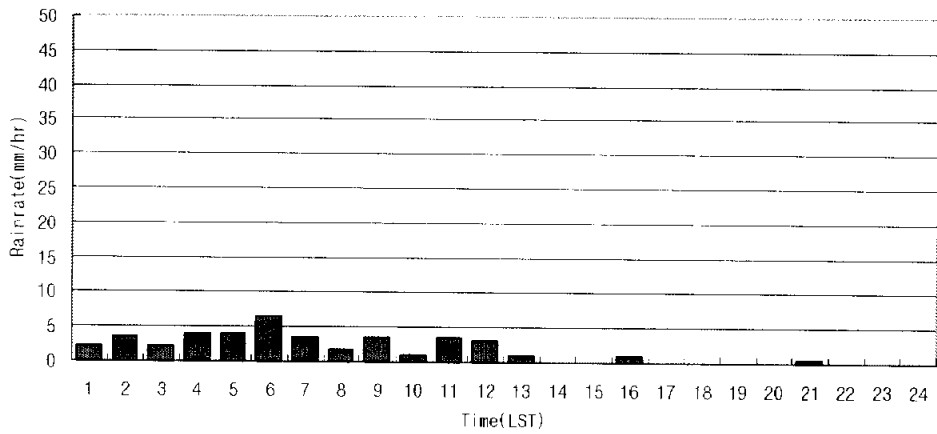


Figure 11. Same as Figure 7 but for Hajodo station

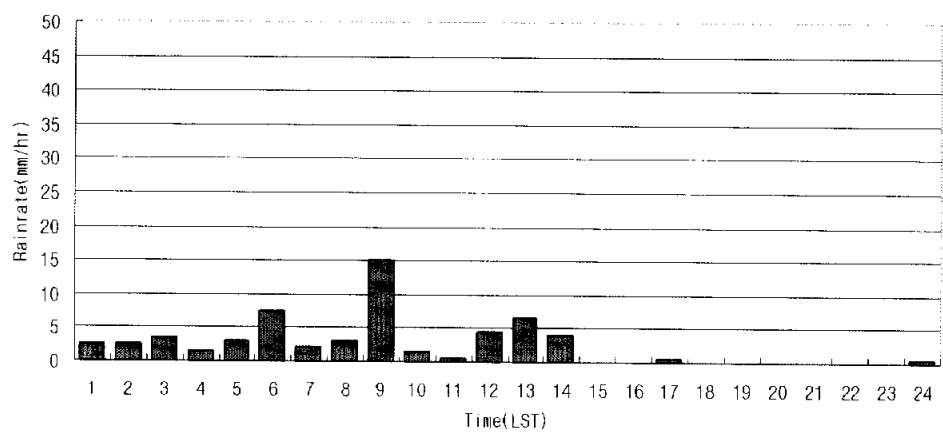


Figure 12. Same as Figure 6 but for Chujado station

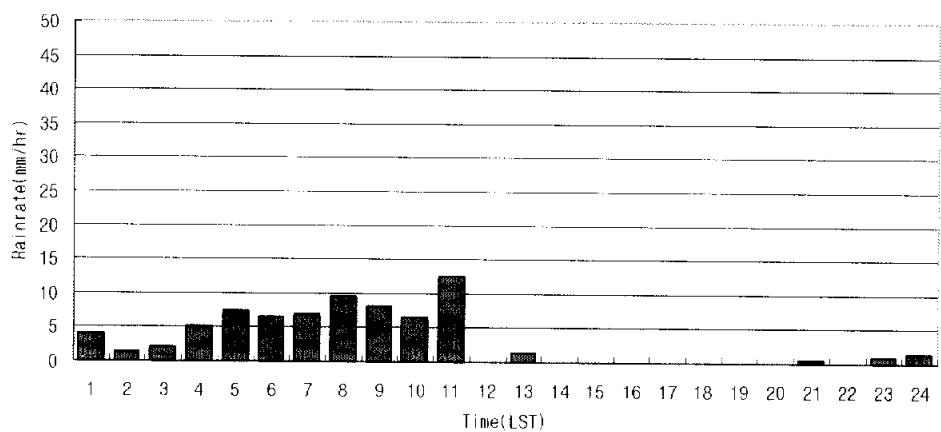


Figure 13. Same as Figure 7 but for Chujado station

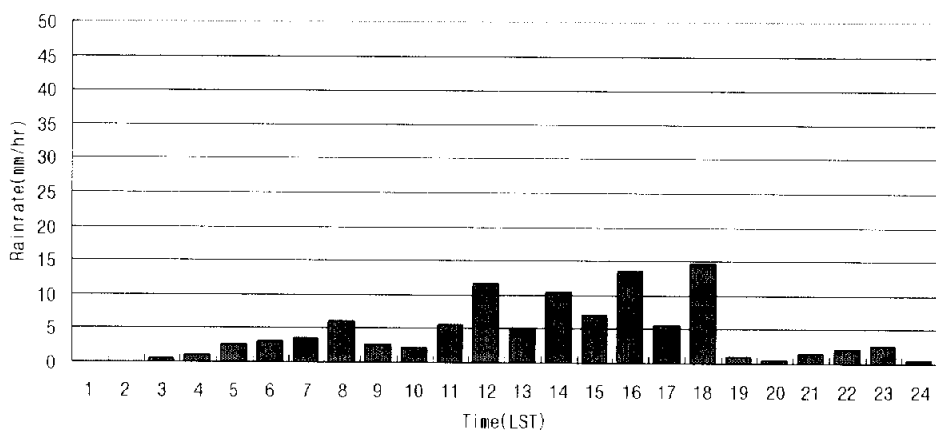


Figure 14. Same as Figure 6 but for Yuchi station

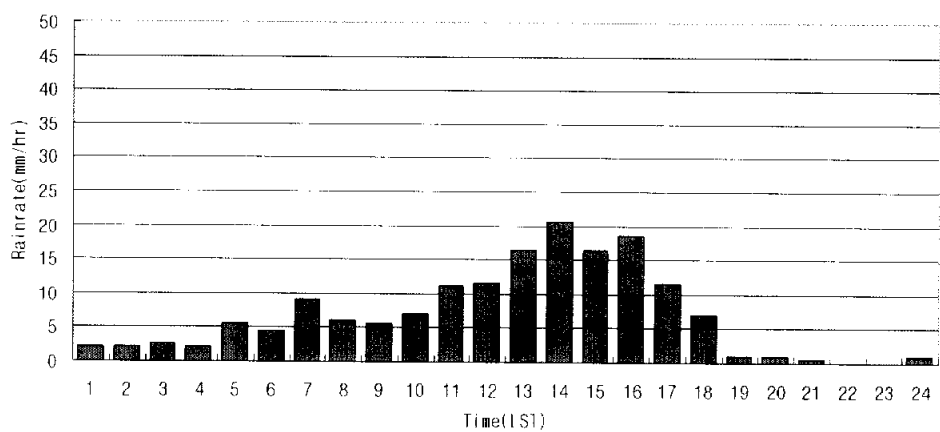


Figure 15. Same as Figure 7 but for Yuchi station

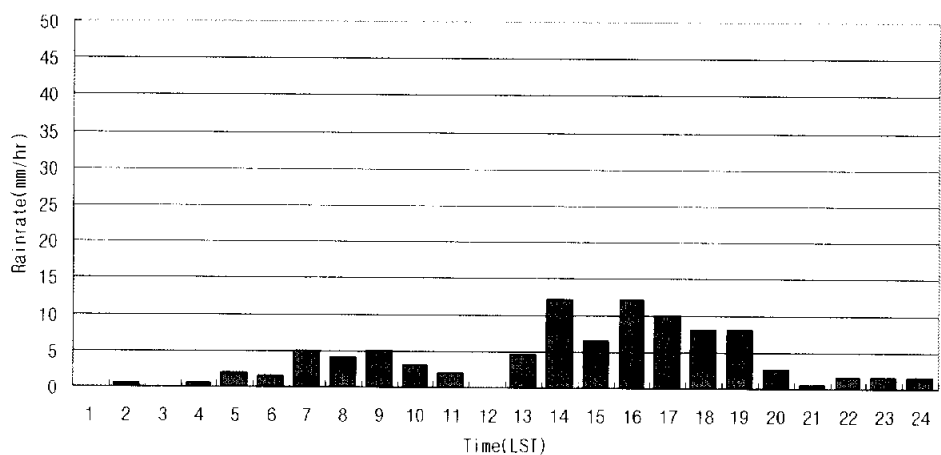


Figure 16. Same as Figure 6 but for Gurye station

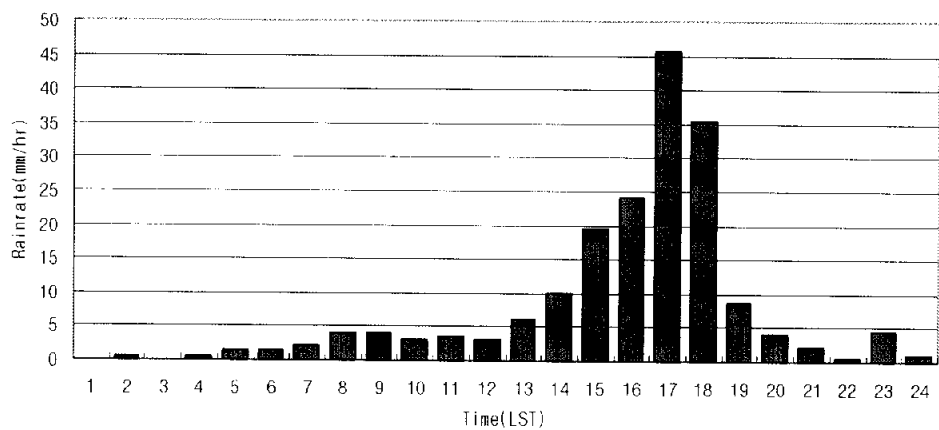


Figure 17. Same as Figure 7 but for Gurye station

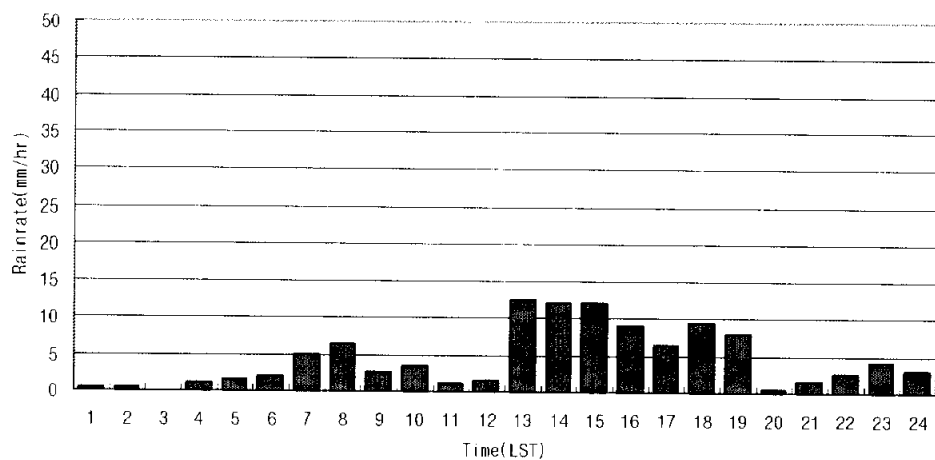


Figure 18. Same as Figure 6 but for Hwasunbok station

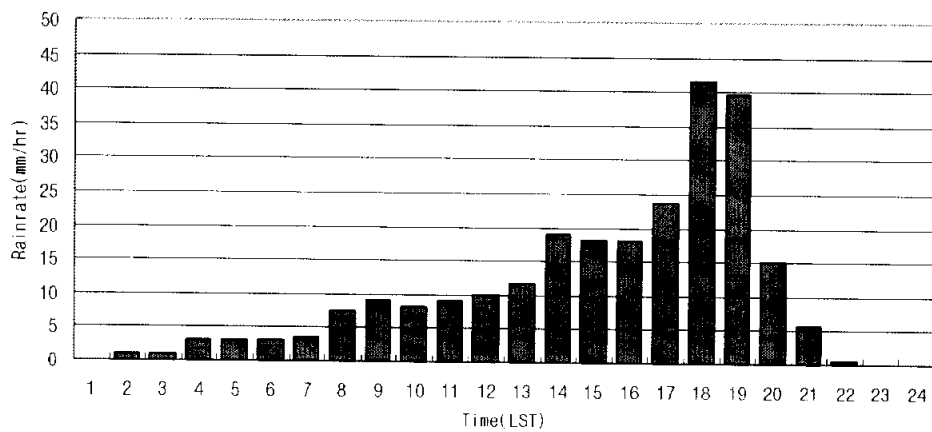


Figure 19. Same as Figure 7 but for Hwasunbok station

2.2 레이더 강우량 분석

레이더 에코강도로부터 레이더 강우량을 계산하기 위하여 다음과 같은 식이 사용되었다(Marshall and Palmer, 1948 ; Best, 1950).

$$Z=a\cdot R^b$$

여기서 Z는 반사인자(reflectivity factor)로 단위부피(m^3)내에 존재하는 산란체인 물방울의 직경과 개수에 직접 관련된 값으로 단위는 mm^6/m^3 이며, R은 레이더 강우율(radar rainfall rate)로 단위는 mm/h, 그리고 a와 b는 경험적으로 결정되는 상수로서 강수유형과 계절 및 지형에 따라 좌우된다.

원래 Z는 Probert-Jones(1960)가 체계화한 레이더 방정식에 의하여 기상레이더 수신기에서 아날로그식으로 결정된 수신신호의 세기를 A/D(analog to digital)로 변환된 값이다. 따라서 Z는 우적들의 직경을 6승하여 얻어진 것이므로 우적이 작아지면 레이더 에코강도는 급격히 약해진다. 또한 R은 우적의 크기와 개수에 따라 결정되므로 Z와 R은 상당히 양호한 상관관계가 성립된다. 즉, 경험적 상수 a, b를 가진 Z-R관계식인 식이 성립된다.

상수 a와 b의 값을 경험적으로 잘 결정한다는 것은 레이더로부터 레이더강우량을 계산하는데 그 성패를 좌우하므로 기상레이더마다 강수유형 및 기타 여러 조건들을 고려하여 경험적 상수 a, b를 적절히 결정해 놓아야 한다.

국내에서는 아직까지 1948년에 Marshall and Palmer가 제안한 층상형 강우에 적용하는 $Z=200R^{1.6}$ 이라는 관계식을 쓰고있어 이에 대한 오차를 포함한 채 강수량이 추정되고 있는 실정이다.

기상레이더는 강수량을 직접 관측하는 장비가 아니므로, 레이더가 관측한 반사도를 지상강우강도로 전환할 수 있는 관계식이 필요하다.

$z=a \cdot R^b$ 에서

$$R=(\frac{z}{a})^{1/b} \text{ 이다}$$

여기서 R은 레이더가 관측한 순간의 강우강도이다.

Z-R관계식에서 반사인자(Z)값은 dBZ단위이므로 강우강도를 dBZ단위로 환산하여 비교해야 한다.

$$dBZ=10\log z,$$

$$\text{여기서 } z=\sum_{i=1}^n N_i D_i^6$$

레이더 강수량 산출을 위하여 각 지점에서 10분 간격으로 관측한 레이더 반사도 값 6개를 하나의 블록으로 하여 1시간 평균 값(Mean reflectivity)을 AWS실측강수량과 비교하였다.

Figure 20 ~ 33은 각 사례지점에서의 raw-reflectivity와 mean-reflectivity가 실측 강수량과 어떠한 차이가 있는지를 비교하였다.

raw-reflectivity값은 Figure 20, Figure 22, Figure 24, Figure 26 Figure 28, Figure 30, Figure 32의 그림으로 나타내었는데 지점별강우가 관측된 시간에 raw-reflectivity값이 없는 것을 알 수 있다.

그 이유는 실측강수량(mm/h)은 시간별 강우 누적값이지만 레이더에코 값은 전파가 수신된 시각이 반사도값이기 때문이다.

그러므로 이 값으로 강수량을 추정하는데는 오차범위를 더욱 크게 발생시킨다는 것을 알 수 있다.

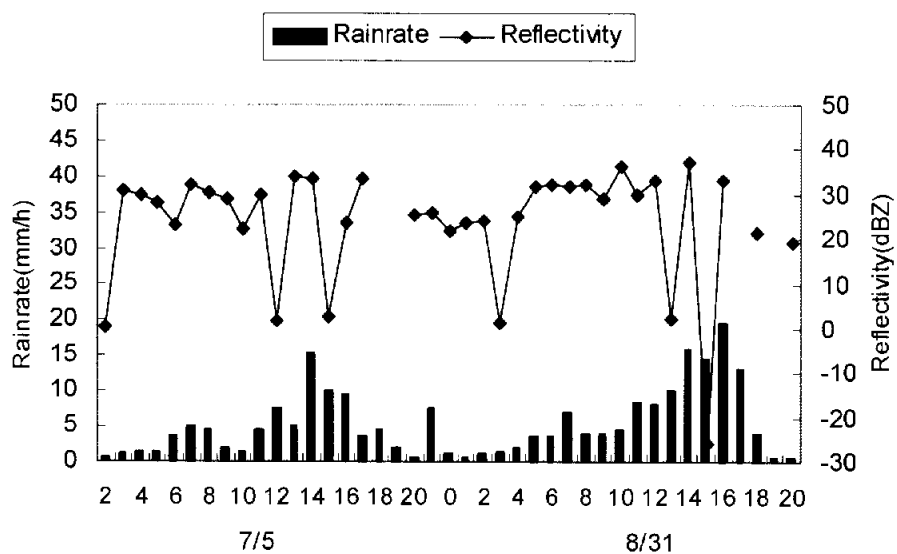


Figure 20. Comparison between raw reflectivity and AWS (731) rainrate

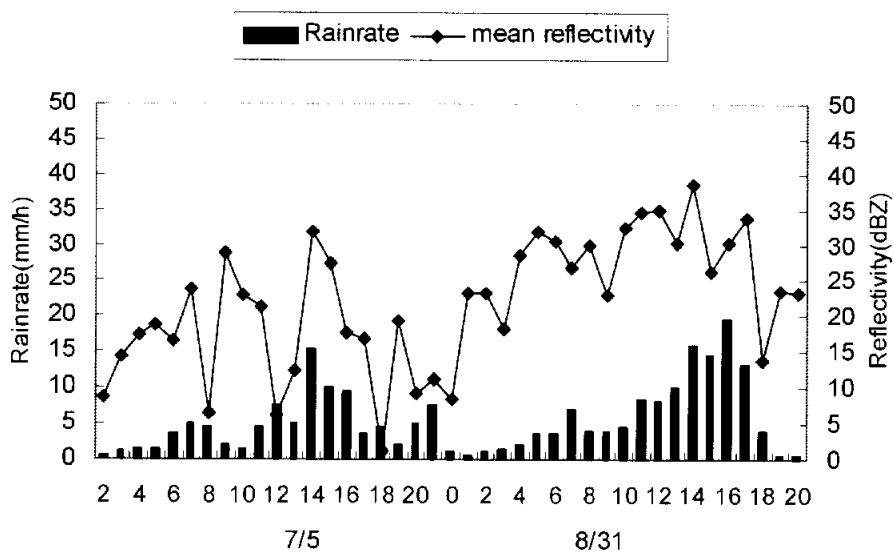


Figure 21. Comparison between mean reflectivity and AWS (731) rainrate

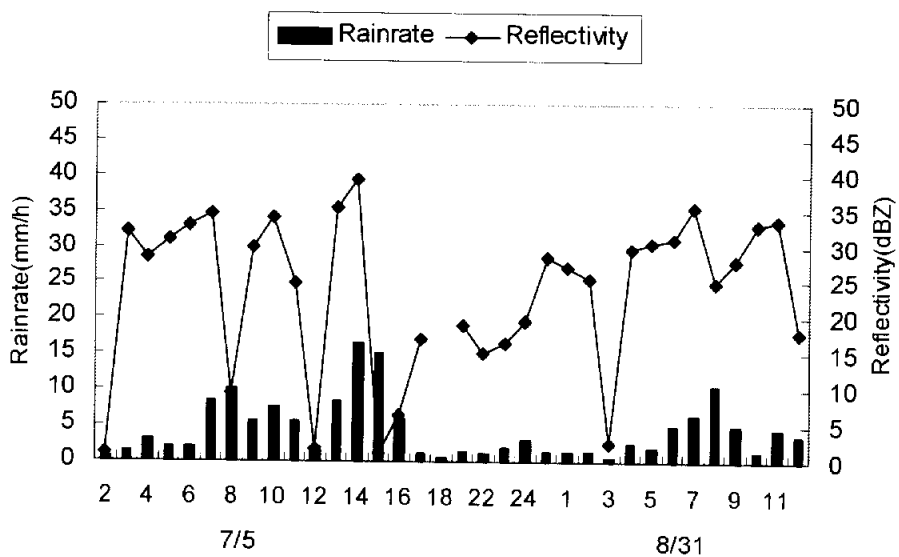


Figure 22. Same as Figure 20 but for AWS(714) rainrate

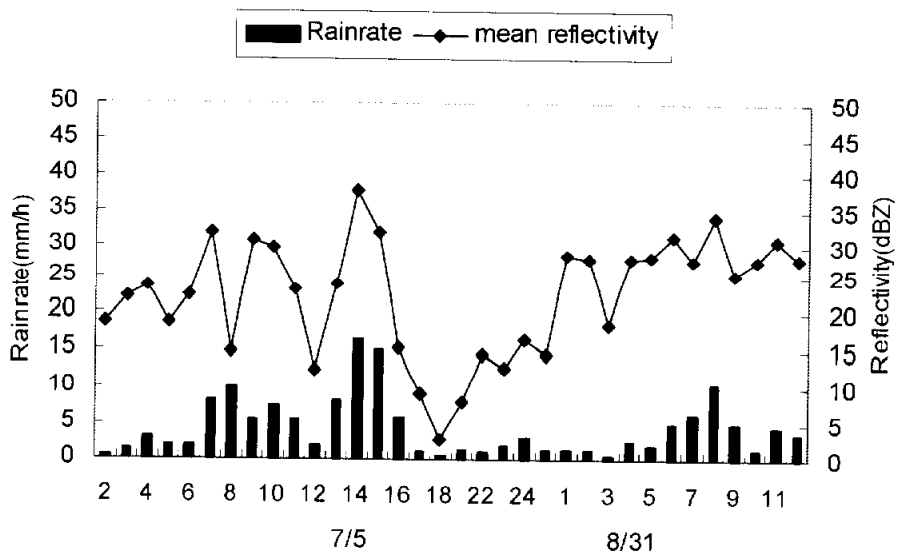


Figure 23. Same as Figure 21 but for AWS(714) rainrate

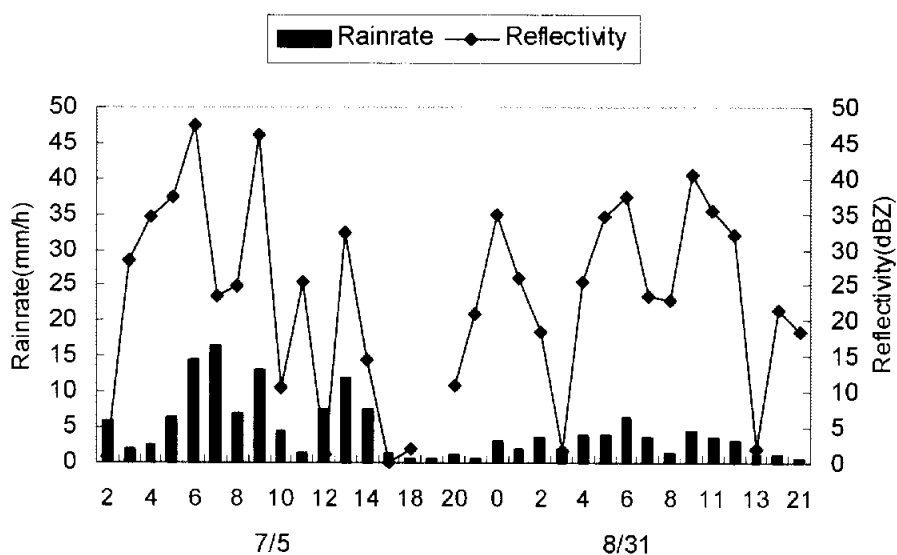


Figure 24. Same as Figure 20 but for AWS(718) rainrate

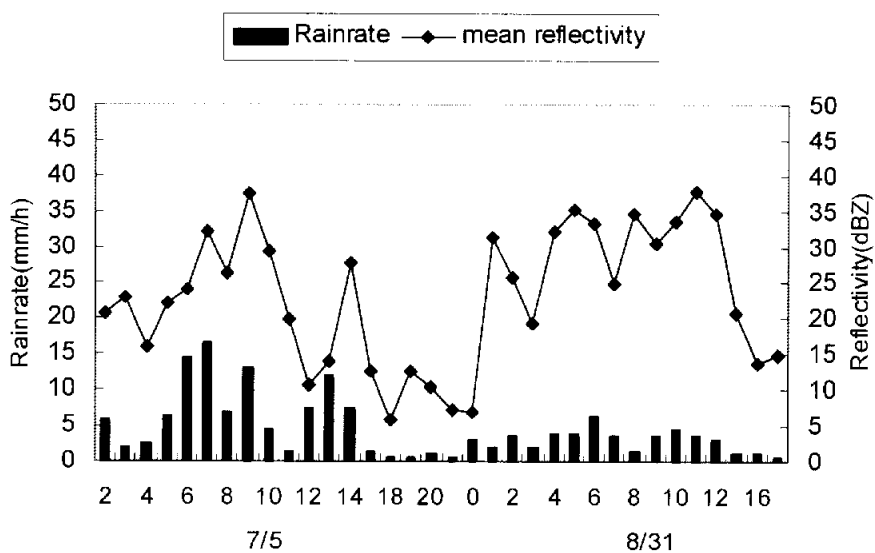


Figure 25. Same as Figure 21 but for AWS(718) rainrate

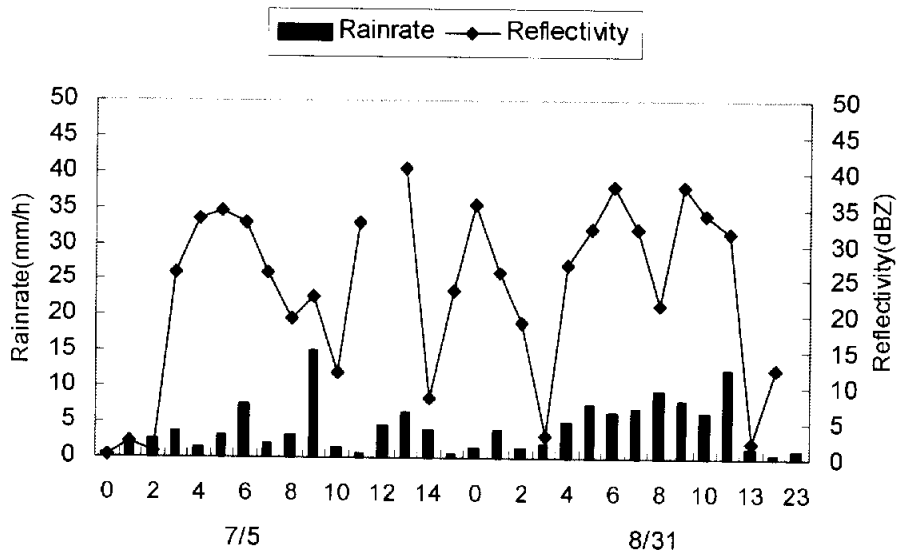


Figure 26. Same as Figure 20 but for AWS(724) rainrate

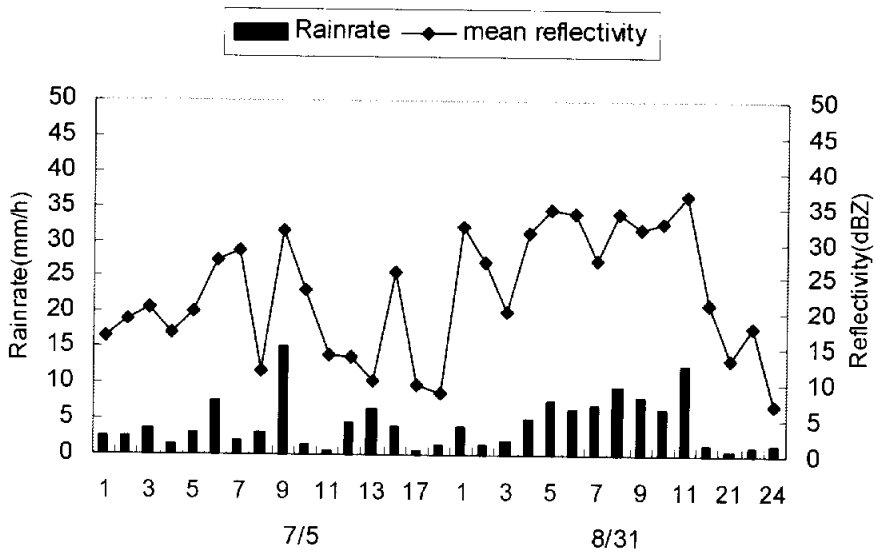


Figure 27. Same as Figure 21 but for AWS(724) rainrate

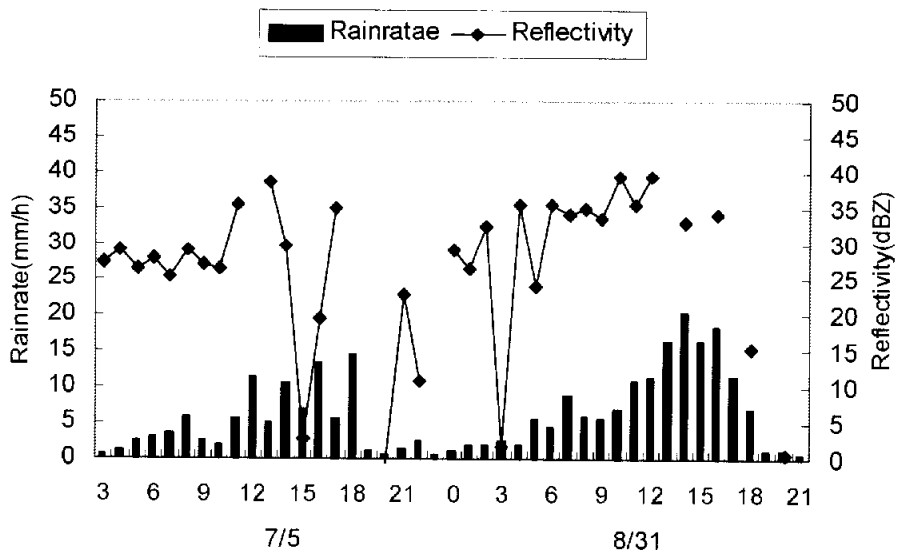


Figure 28. Same as Figure 20 but for AWS(778)rainrate

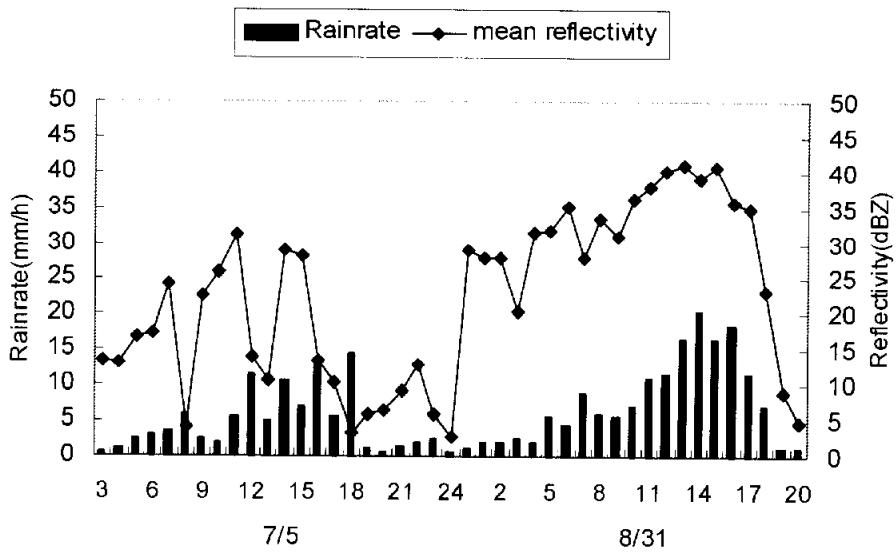


Figure 29. Same as Figure 21 but for AWS(778) rainrate

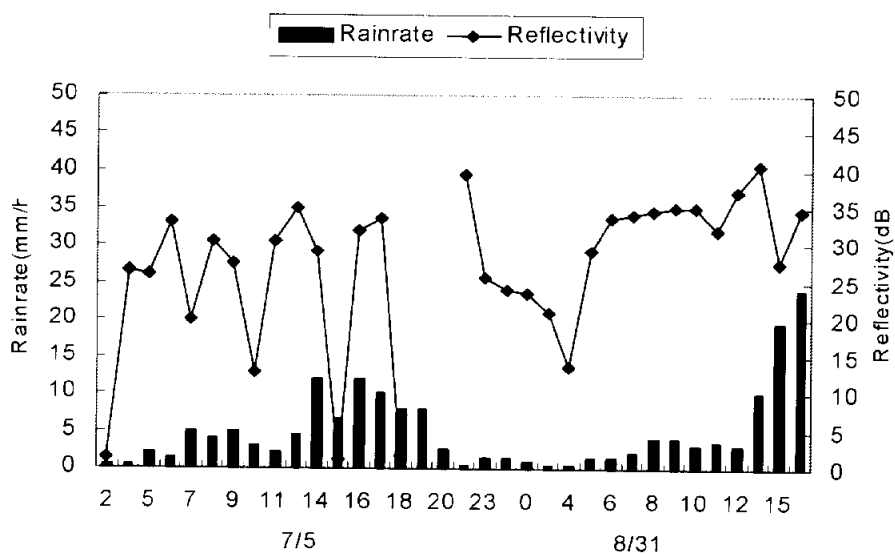


Figure 30. Same as Figure 20 but for AWS(709) rainrate

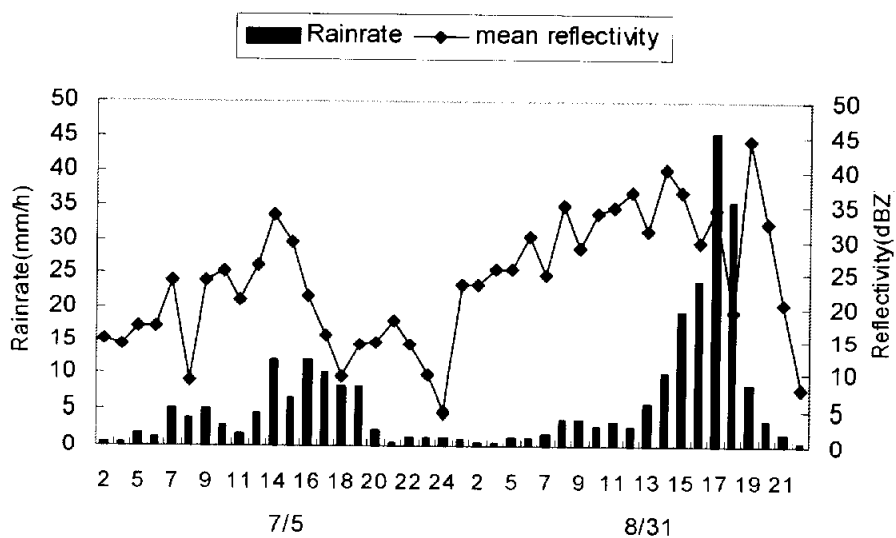


Figure 31. Same as Figure 21 but for AWS(709) rainrate

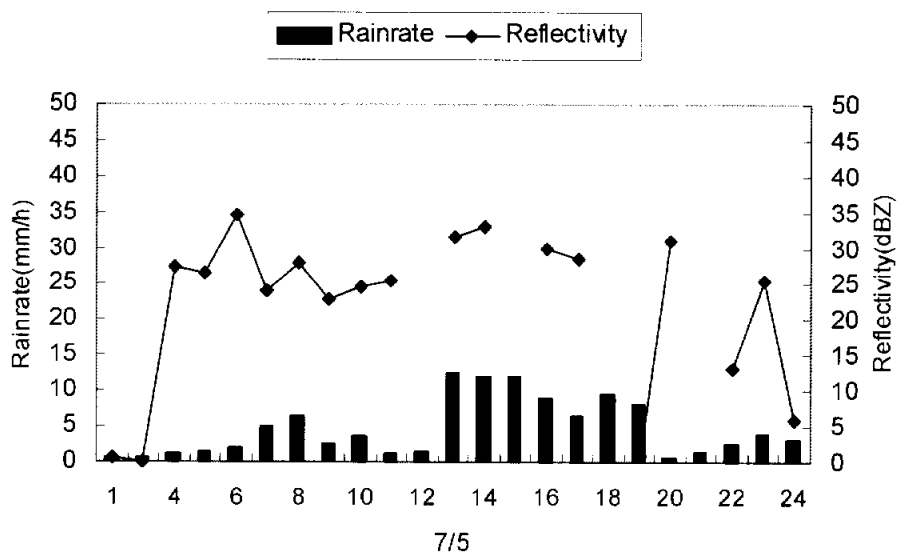


Figure 32. Same as Figure 20 but for AWS(755) rainrate

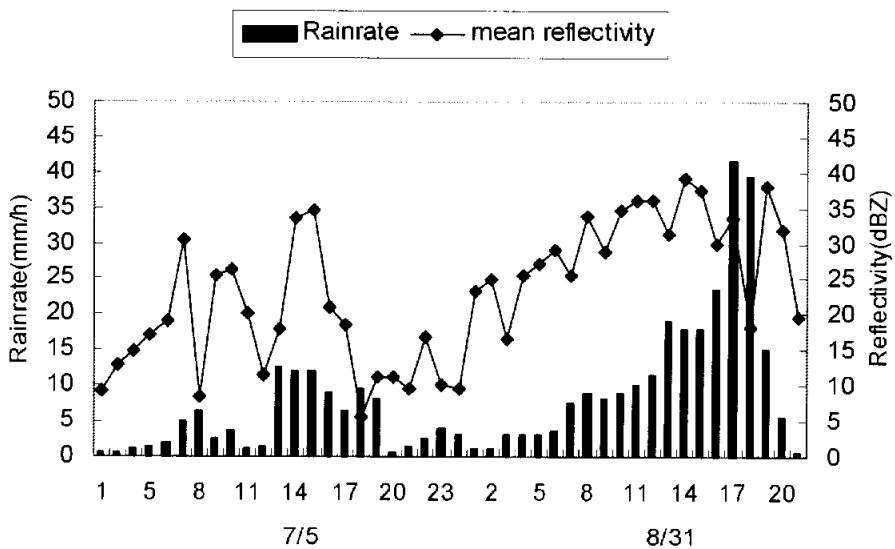


Figure 33. Same as Figure 21 but for AWS(755) rainrate

하지만, 레이더에코값을 1시간 평균한 값인 mean reflectivity값으로 비교한 Figure 21, Figure 23, Figure 25, Figure 27, Figure 29, Figure 31, Figure 33을 살펴보면 실측 강우량과 mean reflectivity값이 강우가 관측된 시간에 적절한 반사도값을 나타내고 있고 상관관계 또한 비교적 잘 일치함을 보여주고 있다.

지점별 AWS를 이용한 레이더 강우량 추정방법을 여러 각도에서 살펴보았는데 각 지점에서 방위각 1.0° 간격으로($1\text{km} \times 1\text{km}$) 9개의 격자점을 나누고, 지점에서의 평활화를 위하여 각 격자점에서의 max-reflectivity에 대한 평균값과 각 격자점에서의 평균반사도에 대한 평균값을 이용 z-R값을 산출하여 레이더강우량을 추정해보았는데 max-reflectivity값과 평균반사도값은 이외로 큰 차이를 보이지 않았다.

하지만, R^2 값을 비교한 결과 AWS를 이용한 레이더 강우량 추정방법은 각 지점에서 1시간 평균반사도(mean reflectivity)을 이용하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 사례지점 z-R 산정

Figure 34, 35은 태풍이 우리나라에 접근하면서 통과할 동안의 레이더 영상 분포도이다.

Figure 34는 태풍 RAMMASUN이 사례지점을 통과할 때의 레이더에코 영상인데 레이더에코의 발달과정을 살펴보면 7월 5일 00시부터 에코가 발달하기 시작했으며 7월 5일 15까지 에코강도가 크게 관측되었다.

에코가 관측된 시간의 지점별 반사도값을 살펴보면 영암(731) 0.42dBZ~34dBZ, 자은(714) 1.09dBZ~39.5dBZ, 하조도(718) 0.12dBZ~47.5dBZ 추자도(734) 0.72dBZ~40.5dBZ, 유치(778) 2.85dBZ~38.5dBZ, 구례(709) 1.03dBZ~35dBZ, 화순북(755) 0.06dBZ~34.5dBZ를 나타내었고

Figure 35는 태풍 RUSA가 사례지점을 통과할 때의 레이더에코영상인데 레이더에코의 발달과정을 살펴보면 8월 30일 16시부터 에코강도가 발달하기 시작하여 8월 31일 18시까지 에코강도가 크게 관측되었다.

에코가 관측된 시간의 지점별 반사도값을 살펴보면 영암(731) -25.78dBZ~37dBZ, 자은(714) 2.43dBZ~35.5dBZ, 하조도(718) 0.72dBZ~40.5dBZ, 추자도(724) 0.72dBZ~38dBZ, 유치(778) 1.76dBZ~39.5dBZ, 구례(709) 1.82dBZ~40.5dBZ를 나타내었다.

태풍 RAMMASUN이 통과할 때의 사례지점별 AWS 최다강우율을 보면 진도레이더에서 SW방향으로 50.9km 거리의 해상에 위치한 하조도(718)에서 7월 5일 07시에 16.5mm/h 그리고 진도레이더에서 NW 방향으로 53.1km 거리의 해상에 위치한 자은도(714)에서 7월 5일 14시에 16.5mm/h가 관측되었다. 태풍 RUSA가 통과할 때의 AWS최다강우율을 보면 진도레이더에서 NE방향으로 111km 거리에 위치한 구례(709)에서 8월 31일 17시에 45.5mm/h가 관측되었다.

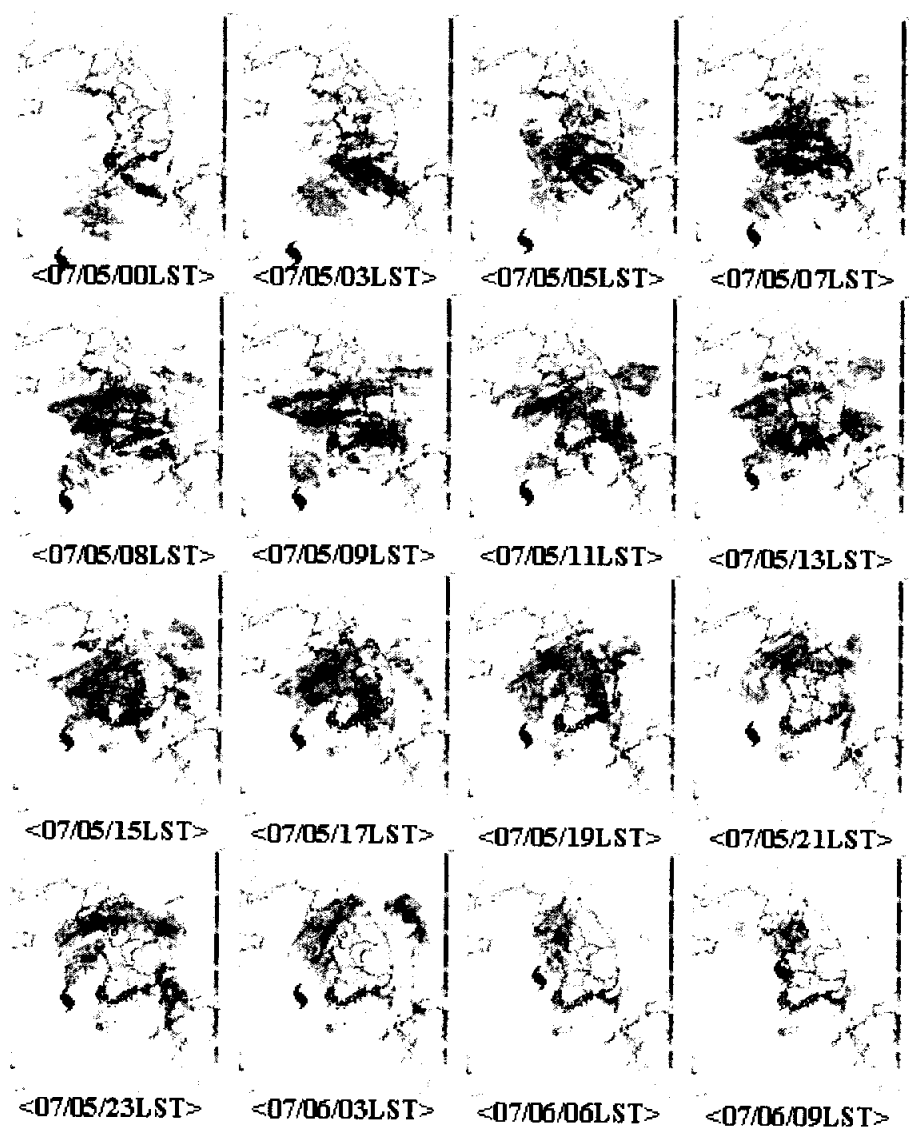


Figure 34. Series of radar image at typhoon RAMMISUN in 2002

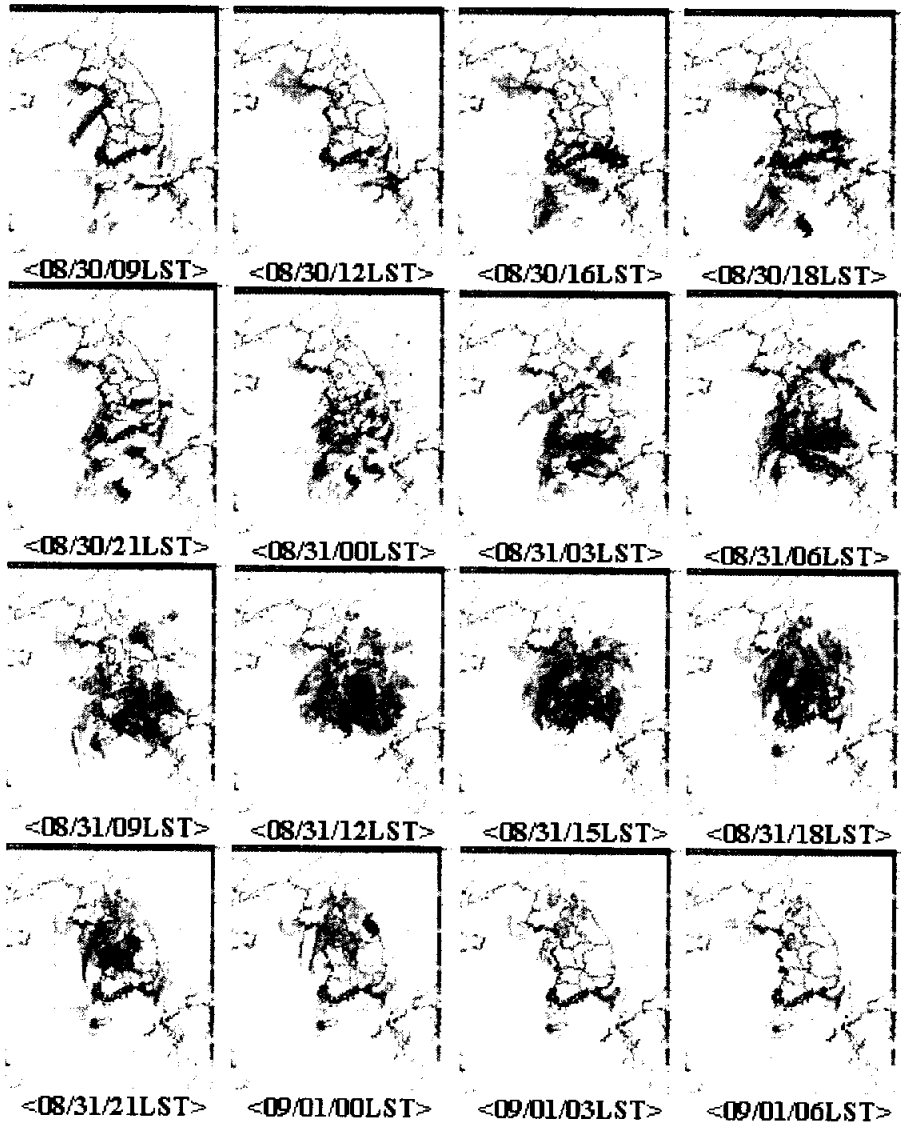


Figure 35. Same as Figure 34 but for typhoon RUSA in 2002

레이더에코영상(Figure. 34,35)과 지점별 강우율로 나타낸 도표(Figure. 6~19)에서 알 수 있겠지만 북동쪽에 위치한 지점에서는 강우지속시간이 꾸준함을 나타내고 있으나 해상쪽에 위치한 지점에서는 강우지속시간이 상대적으로 짧고 강우가 관측되지 않은 시간도 많았다.

Table 3은 각 AWS지점에서의 z-R관계식으로 구한 상수 a와 b값을 나타내었고 Figure 36 ~ 43은 각 AWS지점에서의 선형회귀식을 통한 z-R관계식을 나타내었다.

지점 714(Jaeun)에서는 z-R식 상수 a값은 35.7, b값은 1.40로 계산되었다. 714(Jaeun)지점은 진도레이더에서 53.1km정도 북서쪽(337.5°)에 위치한 지점인데 태풍RUSA의 영향보다는 RAMMASUN의 영향을 많이 받은 곳이다. 7월 5일 02시부터 18시까지 지속적인 강수가 있었고 14시에는 16.5mm/h가 관측되었는데 집중호우기간동안 비교적 일치하는 값들을 보여주고 있다. 그러나, 대류성 세포와 레이더 분해능의 상관관계에서는 강우율이 과대평가되는 부분도 볼 수 있었다.

지점 718(Hajodo)에서는 z-R식 상수 a값은 59.4, b값은 1.12로 계산되었다. 718(Hajodo)지점은 50.9km, 남서쪽(229.0°)에 위치한 지점인데 이 지점에서는 지점최대강우율의 16.5mm/h를 보였고 레이더강우율은 태풍 RAMMASUN이 통과할 동안 거의 일치하는 값을 보였다. 그러나 태풍 RUSA가 통과할 동안의 강우는 다소 과대평가되고 있다. Hajodo지점은 태풍 RAMMASUN의 영향을 많이 받은 곳이다.

지점 724(Chujado)에서는 z-R식 상수 a값은 20.8, b값은 1.82로 계산되었다. 724(Chujado)지점에서는 전 사례를 통해 구한 Z-R값과 아주 잘 일치하였고 R^2 값도 0.64를 나타냈다.

그러나 Chujado지점은 각 지점을 통해 볼 때 가장 적은 강우량을 기록한 지점이고 태풍RAMMASUN 통과시엔 집중호우로 볼 수 없을 정도로 적은 강우율을 기록한 지점이다.

위 세 지점(714, 718, 724)은 모두 해상에서 위치한 관측지점이며, 모두 태풍 RAMMASUN의 영향을 받았고 상대적으로 태풍 RUSA의 통과시에는 Chujado지점에서만 집중호우성 강우현상이 관측된 사례이다.

Table 3. The determined value of a and b in each station

Station	Station number	a	b	Distance from radar site (Km)
Yeongam	731	32.9	1.08	51.7
Jaeun	714	35.7	1.40	53.1
Hajodo	718	59.4	1.12	50.9
Chujado	724	20.8	1.82	56.9
Yuchi	778	12.2	1.77	62.8
Gurye	709	42.8	1.12	111.0
Hwasunbok	755	28.2	1.19	106.2
mean		33.1	1.35	

각 지점마다 z - R 관계식의 계수가 다르게 나타나는 것은 각 지점마다 강우강도, 강우유형, 지리적 조건등의 다르기 때문이다. 특히, 태풍과 같은 풍속이 강한 강우에는 상수 a , b 값의 변화가 보다 크게 나타남을 알 수 있다.

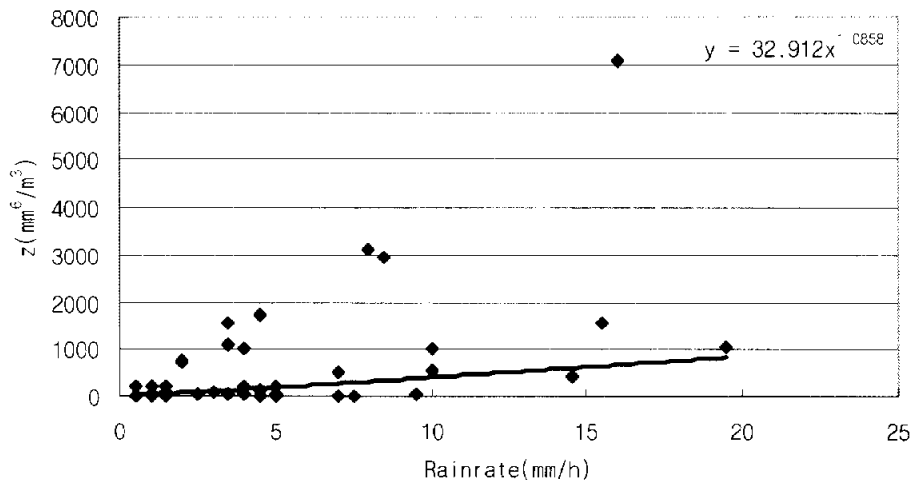


Figure 36. z - R relationship at Yeongam station(731)

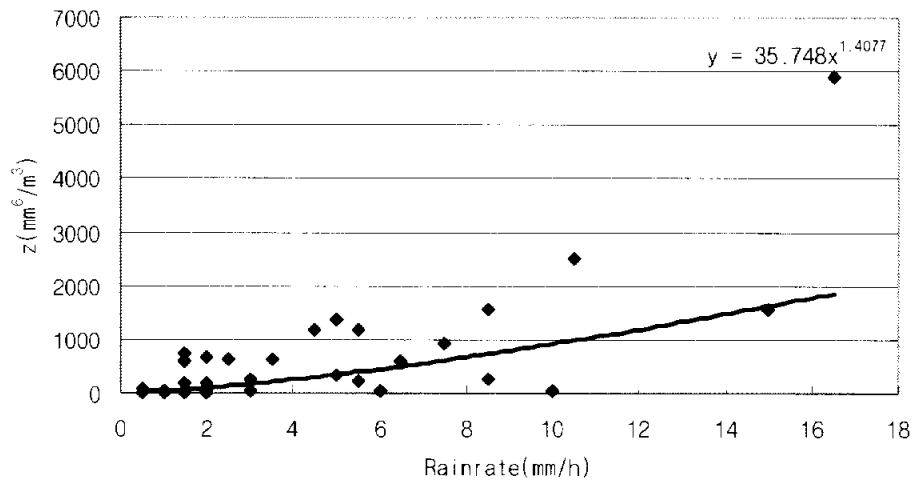


Figure 37. Same as Figure 36 but for Jaeun station(714)

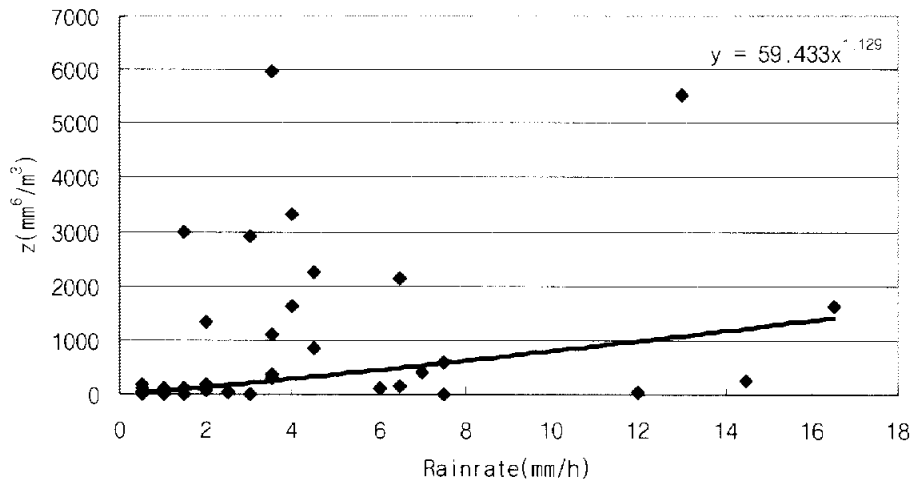


Figure 38. Same as Figure 36 but for Hajodo station(718)

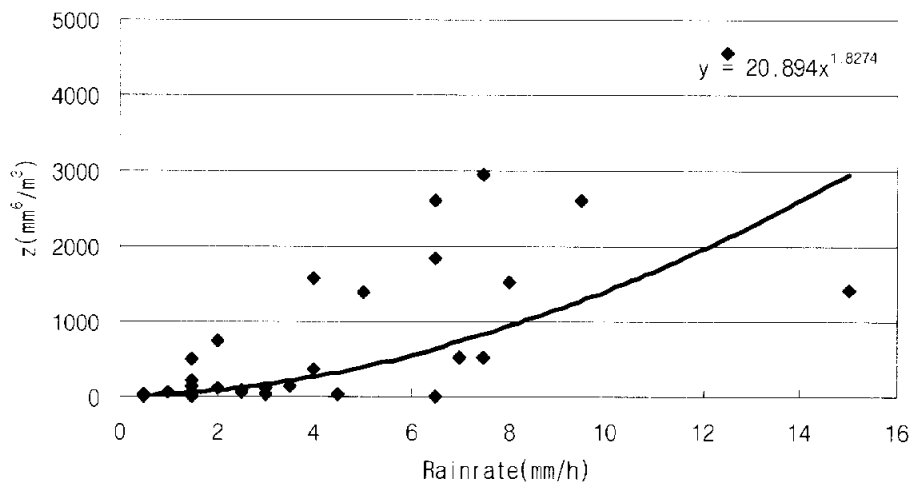


Figure 39. Same as Figure 36 but for Chujado station(724)

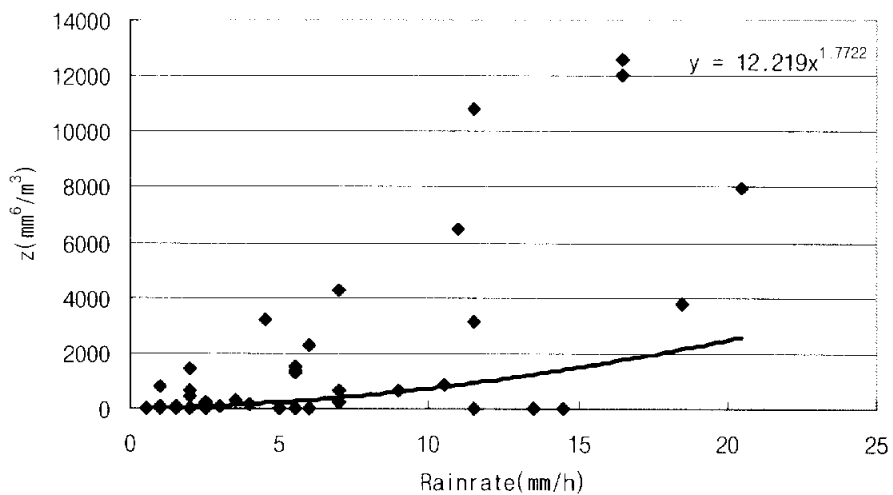


Figure 40. Same as Figure 36 but for Yuchi station(778)

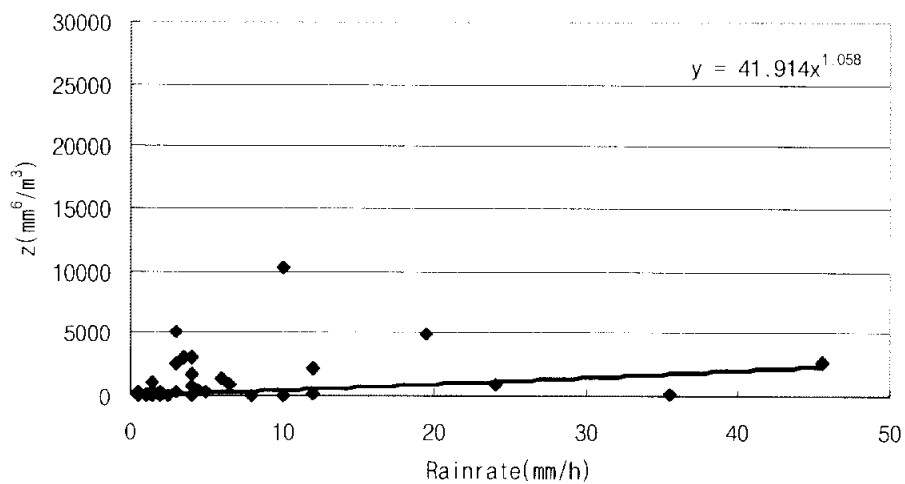


Figure 41. Same as Figure 36 but for Gurye station(709)

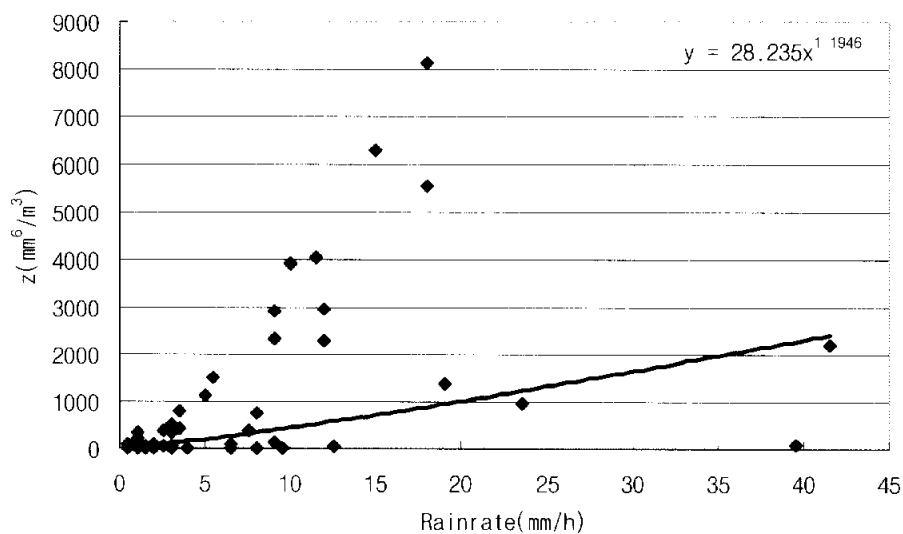


Figure 42. Same as Figure 36 but for Hwasunbok station(755)

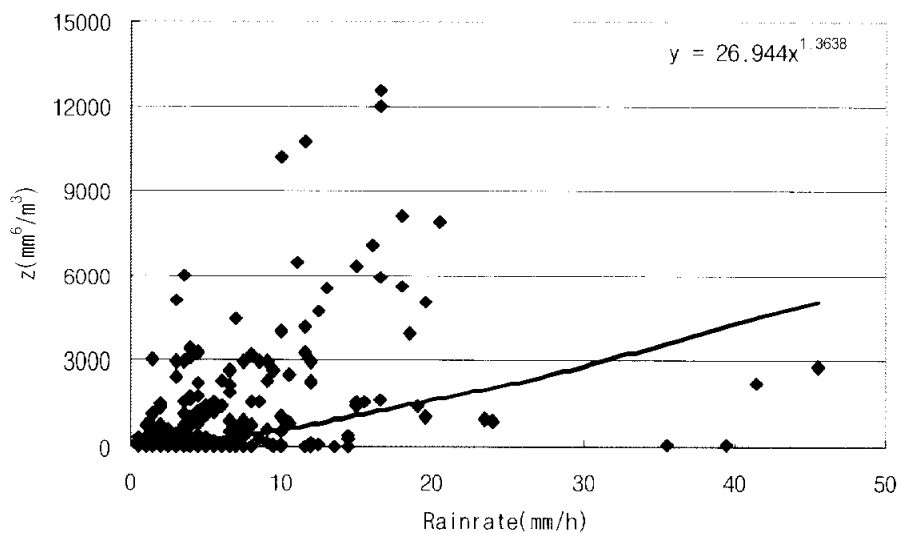


Figure 43. z - R relationship at total station

해상 지점만 비교해보면 강우지속시간과 강우율에 따라 상수 a , b 값이 20.8에서 59.4, 1.12에서 1.82값으로 변하는 것을 알 수 있는데 그 결과 상수 a 와 b 값은 지형적 영향보다는 강우지속시간과 강우율에 따라 변화가 더 크다는 것을 알 수 있다.

지점 731(Yeongam)에서는 z -R식 상수 a 값은 32.9, b 값은 1.08로 계산되었다. Yeongam지점은 태풍의 영향을 지속적으로 받은 지점으로 진도레이더에서의 거리와 방위는 51.7km, 45.0°로써 Gurye지점과 비교지역으로 선택하였다. 그 결과 상수 a , b 값 모두 Gurye지점과 비슷한 값들을 나타내고 있으며, 태풍이 영향을 지속적으로 받은 경우의 상수 a , b 값이 변화는 앞서 제시한 지형적영향보다 강우지속시간과 강우율에 따라 상수 a , b 값이 변함을 보여주고 있다

지점 709(Gurye)에서는 z -R식 상수 a 값은 42.8, b 값은 1.12로 계산되었다. 709(Gurye)는 진도레이더와 111km 떨어진 북동쪽(45.0°)에 위치하고 있고 유효탐지거리의 한계점으로 판단하여 택한 지점이었다. 태풍이 통과할 동안 709(Gurye)에서 강우율이 가장 많이 관측된 시간의 레이더강우량을 추정해보았는데 거의 일치하는 값을 나타내었는데 10mm/h이상에서는 다소 과대평가됨을 알 수 있다.

하지만, 비교적 좋은 값을 나타내고 있어 거리가 멀어질수록 탐지능력이 저하되는 레이더자체의 분해능에 비해 S-band레이더는 우수한 성능을 발휘하는 것을 알 수 있었다. 또한, 태풍RAMMASUN이 통과할 동안 보다는 RUSA가 통과할 동안의 반사도 값이 높게 관측되었다.

지점 778(Yuchi)에서는 z -R식 상수 a 값은 12.2, b 값은 1.77로 각각 계산되었다. Yuchi지점은 진도레이더에서 62.8km, 북동쪽(60.0°)에 위치한 지점이며 태풍RAMMASUN과 RUSA의 영향을 동시에 비교하고자 택한 지점이다. 그 결과 태풍RAMMASUN이 통과한 경우는 레이더강우율이 다소 과소평가되었고 RUSA 통과시엔 레이더강우율이 과대평가되었다.

지점 755(Hwasunbok)에서는 z-R식 상수 a값은 28.2, b값은 1.19로 계산되었다. Hwasunbok지점은 진도레이더에서 106.2km, 북동(45.0°) 방향에 위치한 지점이고 전 지점을 통해서 가장 많은 강우율을 기록한 지점이다. Hwasunbok지점은 진도레이더에서 111.0km 거리에 있는 Gurye지점과 비교해 볼 경우 Gurye지점은 태풍의 영향을 골고루 받았으나 Hwasunbok지점은 태풍 RAMMASUN보다는 RUSA의 영향을 많이 받은 지점으로 RUSA가 통과한 경우의 값들이 다소 과대평가되었으나 비교적 잘 일치하고 있고 100km Range에서 S-band레이더가 유효한 범위 값으로 나타났다.

3.2 태풍 라마순과 루사의 z-R 산정

태풍 RAMMASUN은 초대형 태풍으로 중심기압 965hpa 최대풍속 36m/s을 나타내었고 우리나라에 상륙하면서 TS(Tropical Storm)으로 약화되었다. 사례지점별 최대풍속은 15.4m/s ~ 26.4m/s가 관측되었고 최다강수량은 12.0mm/s ~ 16.5mm/s였다.

태풍 RUSA는 중심기압 955hpa이 강한 대형 태풍으로 2002년 8월 31일에서 9월 1일 우리나라를 통과할 동안 최대풍속 36m/s을 나타내었고 우리나라에 상륙하면서 STS(Severe Tropical Storm)으로 그 세력이 약화되었으나 우리나라 부근 해상의 해수면온도가 평년보다 2~3℃가량 높았던 원인으로 960hpa를 유지하며 지속적인 집중호우를 기록하였다.

Table 4는 태풍 RAMMASUN과 RUSA의 7개 사례지점에서 보여준 태풍 규모(Scale)를 파악하여 z-R관계식과 태풍 규모 사이의 어떠한 상관관계가 있는가를 알아보고자 maximum wind speed 와 maximum precipitation을 비교하였다.

태풍 RAMMASUN인 경우 영암(731) 최대풍속 17.6mm/s, 최다강수량 15.5mm/h, 자은(714) 최대풍속 19.8mm/s, 최다강수량 16.5mm/h, 하조도(718)은 최대풍속 24.8mm/s, 최다강수량 16.5mm/h, 추자도(724) 최대풍속 26.4mm/s, 최다강수량 15.0mm/h, 유치(778) 최대풍속 21.8mm/s, 최다강수량 15.0mm/s, 구례(709) 최대풍속 17.5mm/s, 최다강수량 13.5mm/h, 화순북(755)은 최대풍속 15.4mm/s, 최다강수량 12.5mm/s가 관측되었고 태풍 RUSA는 영암(731) 최대풍속 21.3mm/s, 최다강수량 19.5mm/h, 자은(714) 최대풍속 32.0mm/s, 최다강수량 10.5mm/h, 하조도(718) 최대풍속 31.8mm/s, 최다강수량 6.5mm/h, 추자도(724) 최대풍속 32.7mm/s, 최다강수량 12.5mm/s, 유치(778) 최대풍속 20.2mm/s, 최다강수량 20.5mm/h, 구례(709) 최대풍속 17.5mm/s, 최다강수량 12.0mm/h, 화순북(755) 최대풍속 25.1mm/s, 최다강수량 41.5mm/h가 관

측되었다.

태풍 RAMMASUN이 통과할 때 평균최대풍속 20.47mm/s이고 평균최대 강우량은 14.5mm/h를 나타내었고 태풍 RUSA가 통과할 때의 평균최대 풍속 25.97mm/s이고 평균최대강우량은 22.36mm/h를 나타내었다.

태풍 RAMMASUN과 RUSA가 우리나라를 통과하면서 많은 강우량을 기록하였지만 사례지점에서 보여준 평균 강수량은 태풍 RAMMASUN이 13.1mm/h로 관측되었고 태풍 RUSA가 22.4mm/h로 보다 많은 강수를 가졌다.

Table 4. Meteorological factors at each station

Station	RAMMASUN		RUSA	
	max. wind speed (m/s)	max. precipitation (mm/h)	max. wind speed (m/s)	max. precipitation (mm/h)
Yeongam	17.6	15.5	21.3	19.5
Jaeun	19.8	16.5	32.0	10.5
Hajodo	24.8	16.5	31.8	6.5
Chujado	26.4	15.0	32.7	12.5
Yuchi	21.8	13.5	20.2	20.5
Gurye	17.5	12.0	18.7	45.5
Hwasunbok	15.4	12.5	25.1	41.5
Mean	20.47	14.50	25.97	22.36

Figure 44 ~ 50은 AWS실측 강우강도와 보정된 z -R식 및 현업에서 사용되고 있는 $z=200R^{1.6}$ 식으로 구한 강우강도를 각 지점별로 비교하였다. 각 지점별 $z=200R^{1.6}$ 식으로 구한 강우강도는 실측 AWS 강우강도와는 일치하지 않고 있고 레이더 강우량 추정이 과소평가되고 있다.

이에 비하여 보정된 각 지점별 z -R관계식으로 구한 강우강도는 비교적 잘 일치하고 있고, 특히 강우강도가 높은 경우에는 보정된 z -R식을 이용한 강우강도 추정이 절실히 요구된다. 또한, AWS강우강도와 보정된 z -R관계식으로 구한 강우강도는 지역에 따라 다소 불일치하는 경우도 있는데 이는 반사도 값 선정시 대표성 있는 값의 추출이 매우 중요함을 의미하고 있다.

본 사례에서 비교한 결과만 보더라도 집중호우와 같이 강우량이 많은 경우에는 상당한 차이를 보여줘 z -R보정 값이 향후 레이더강우량 추정에 대단히 중요한 것임을 잘 나타내고 있다.

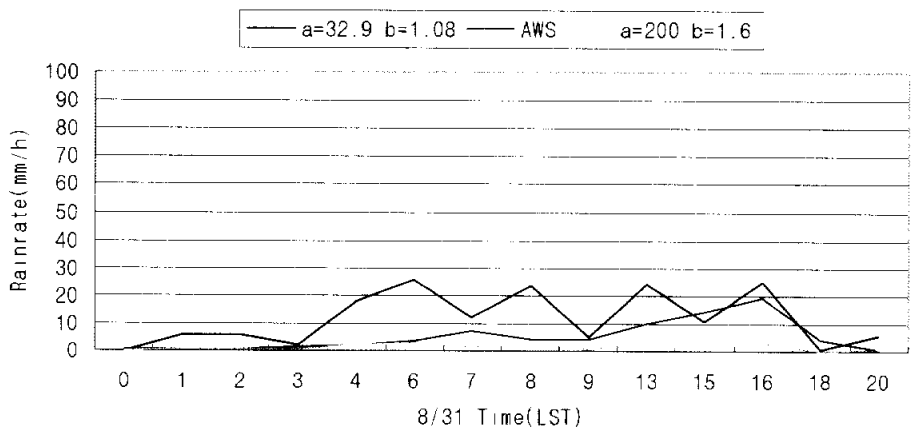
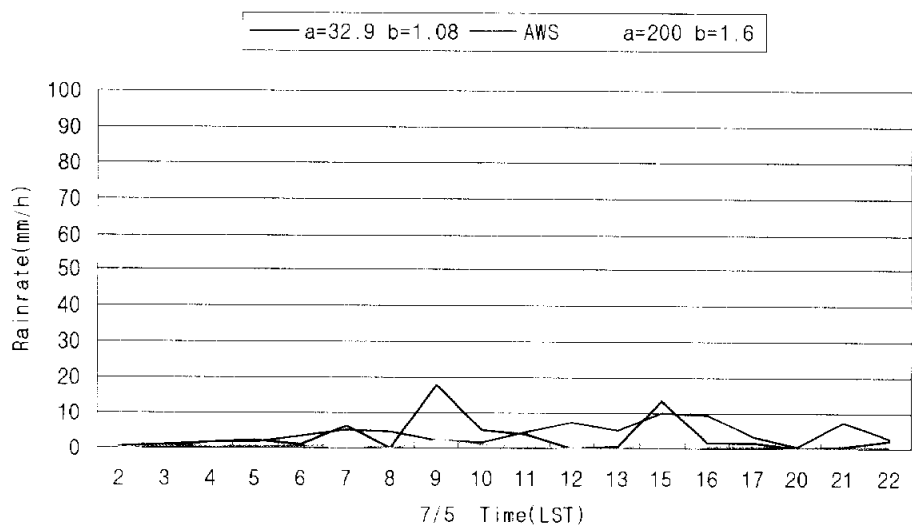


Figure 44. Comparison between radar rainrate and AWS rainrate at Yeongam station(731)

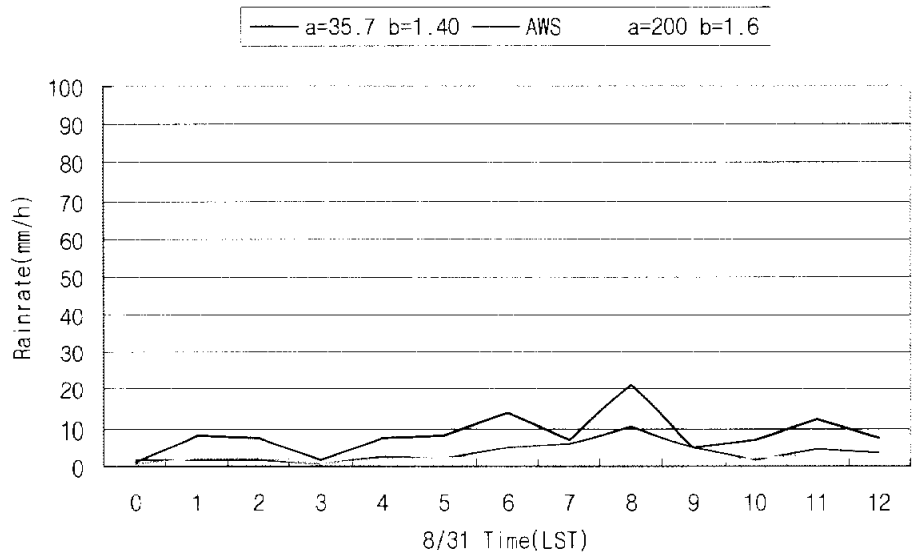
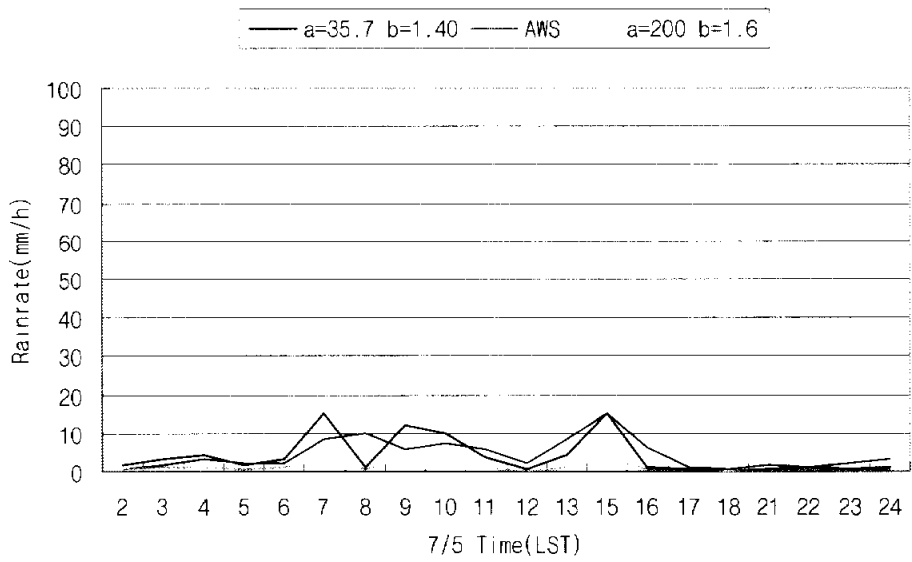


Figure 45. Same as Figure 44 but for Jaeun station(714)

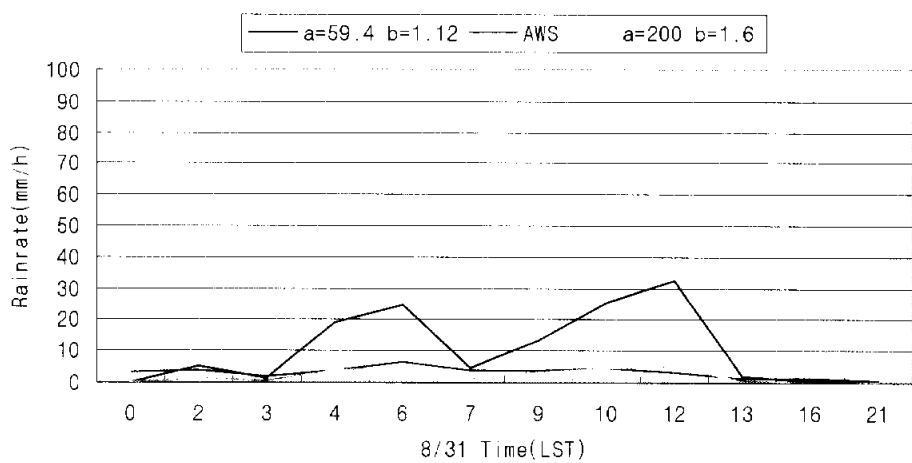
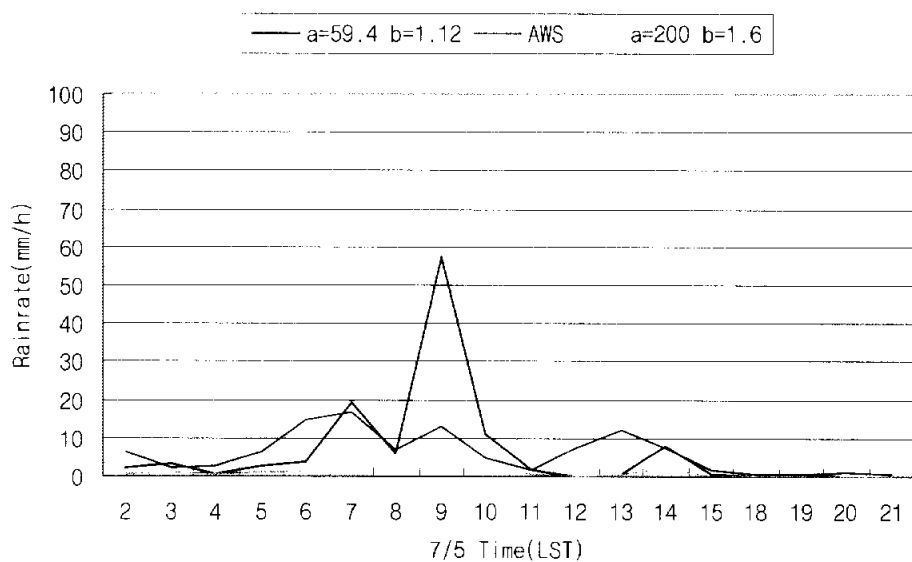


Figure 46. Same as Figure 44 but for Hajodo station(718)

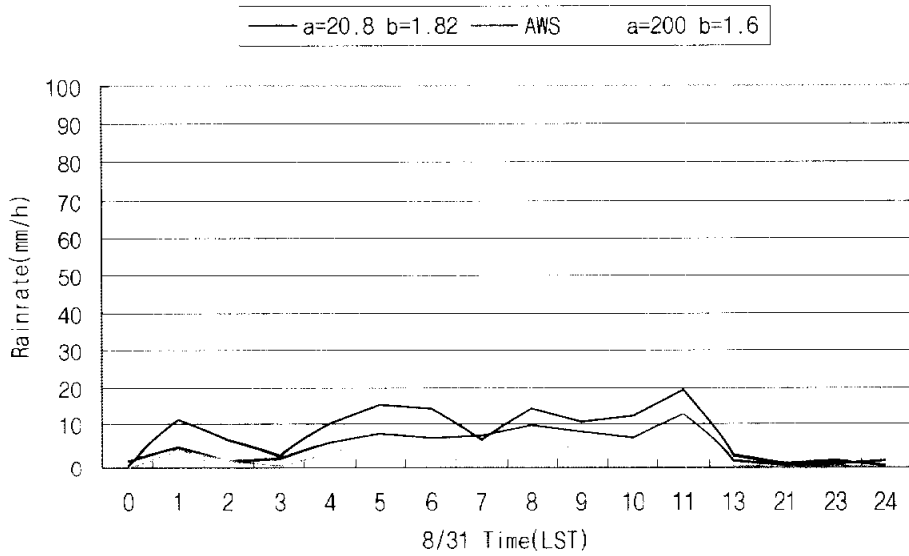
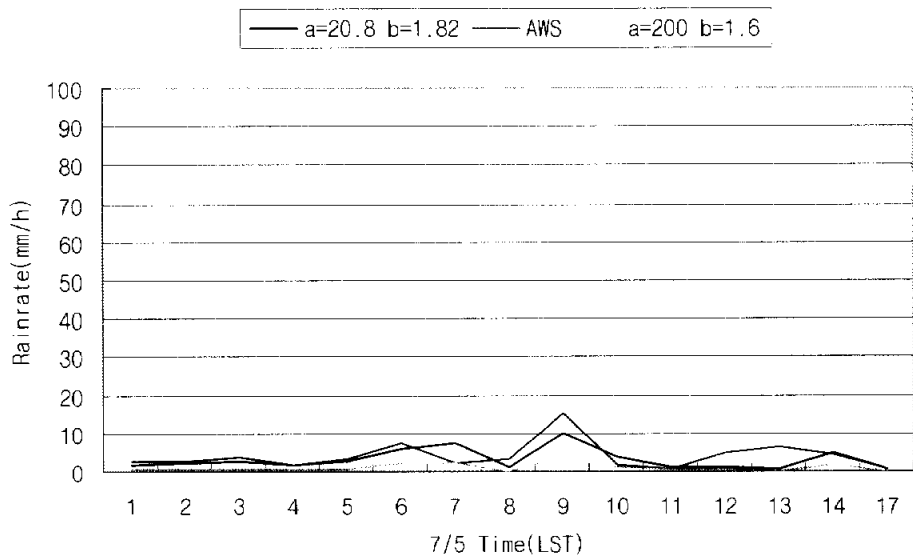


Figure 47. Same as Figure 44 but for Chujado station(724)

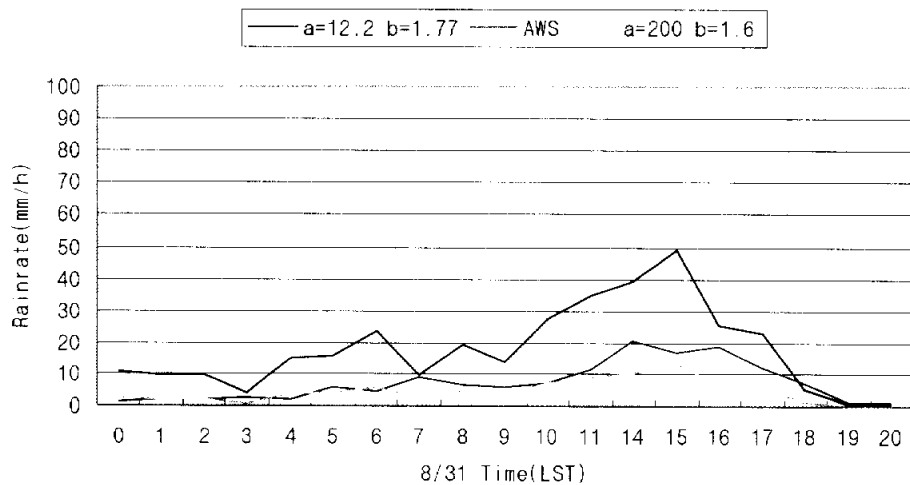
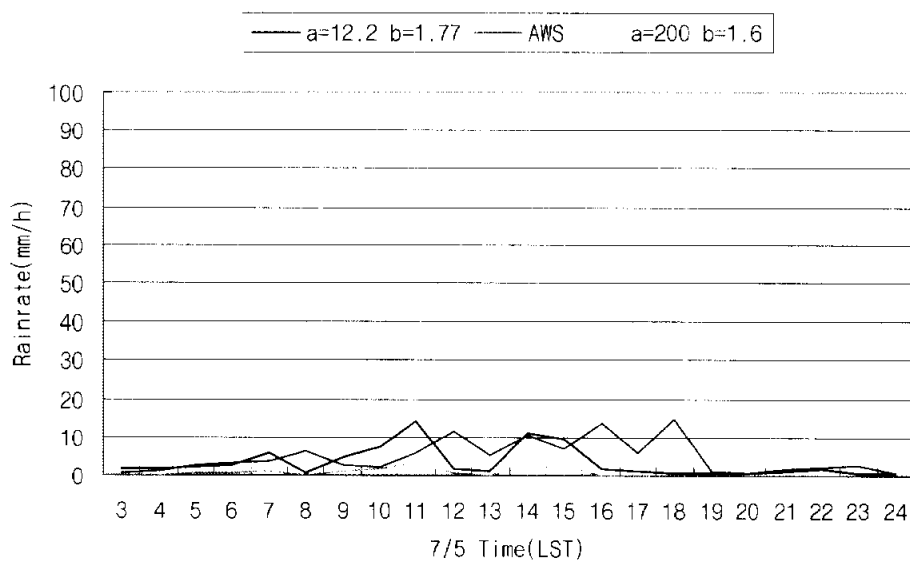


Figure 48. Same as Figure 44 but for Yuchi station(778)

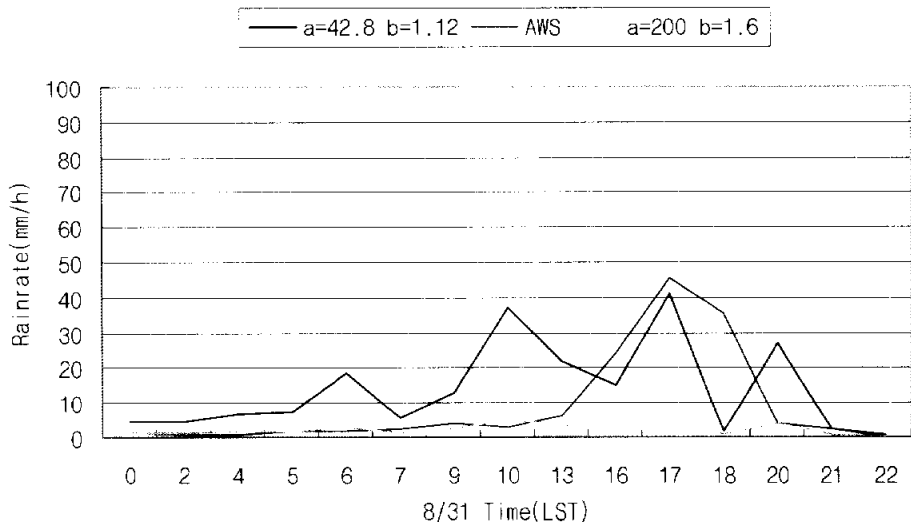
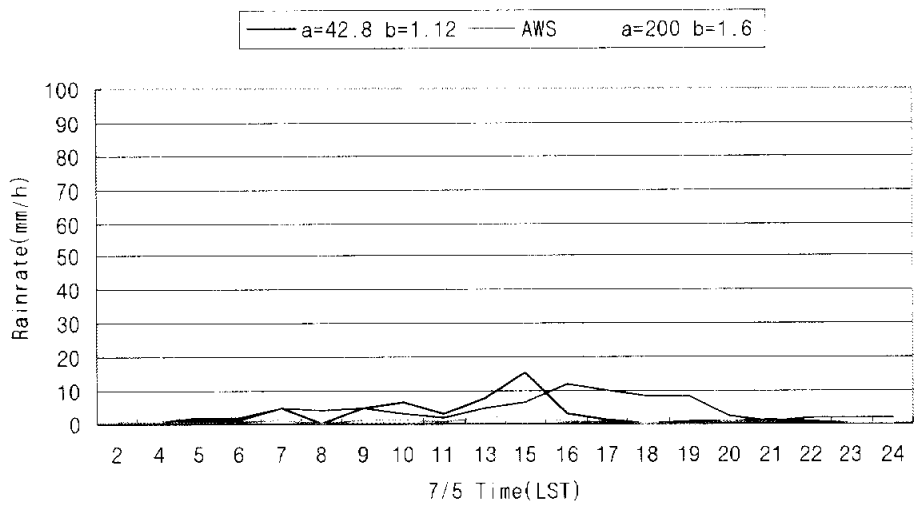


Figure 49. Same as Figure 44 but for Gurye station(709)

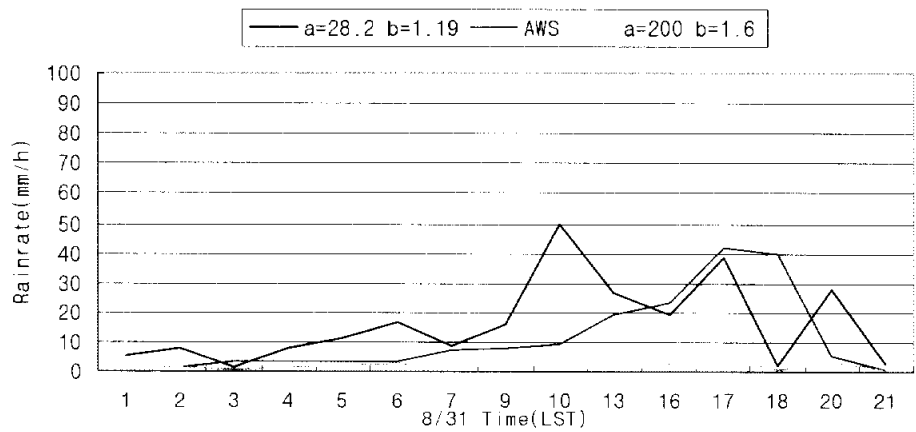
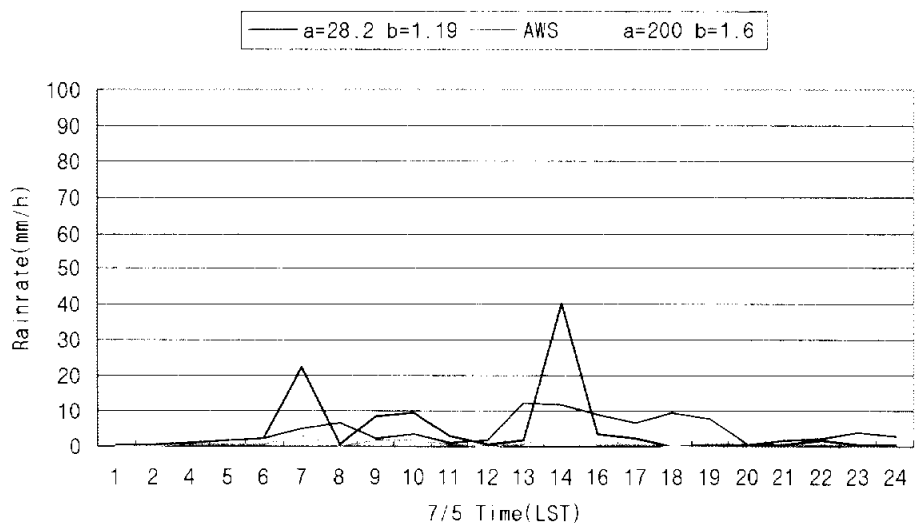


Figure 50. Same as Figure 44 but for Hwasunbok station(755)

Table 5은 태풍 RAMMASUN과 RUSA가 사례지점을 통과할 때의 상수 a와 b의 값을 나타내었고 Figure 51, 52는 사례지점을 통해 태풍 RAMMASUN과 RUSA의 z-R관계식을 나타내었다.

태풍 RAMMASUN인 경우 상수 a는 13.1 b는 1.04 값을 나타내었고 태풍 RUSA인 경우 상수 a는 57.4 b는 1.62값을 나타내었는데 태풍 RAMMASUN과 비교하여 RUSA가 대류성질의 증가하였다는 것을 보여주고 있고 풍속이 강약에 따라서도 상수 a와 b의 값은 많은 차이가 남을 보여주고 있다.

태풍 RAMMASUN과 RUSA를 전체 평균한 상수 a는 35.25 b는 1.33값을 나타내었다.

Table 5. The values of a and b coefficient during passing through typhoon RAMMASUN and RUSA

Typhoon	Typhoon scale	a	b	wind scale
RAMMASUN	TS	13.1	1.04	15.4~26.4
RUSA	STS	57.4	1.62	18.7~32.7
Mean		35.25	1.33	

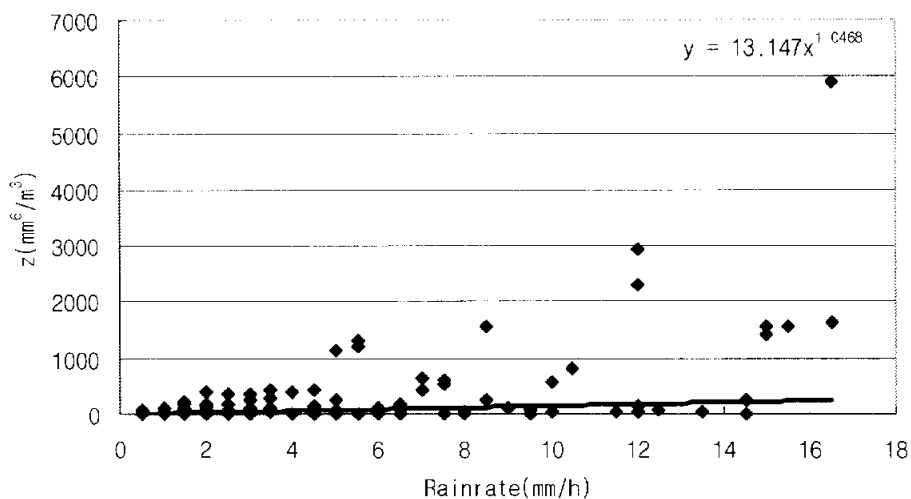


Figure 51. z - R relationship at typhoon RAMMASUN

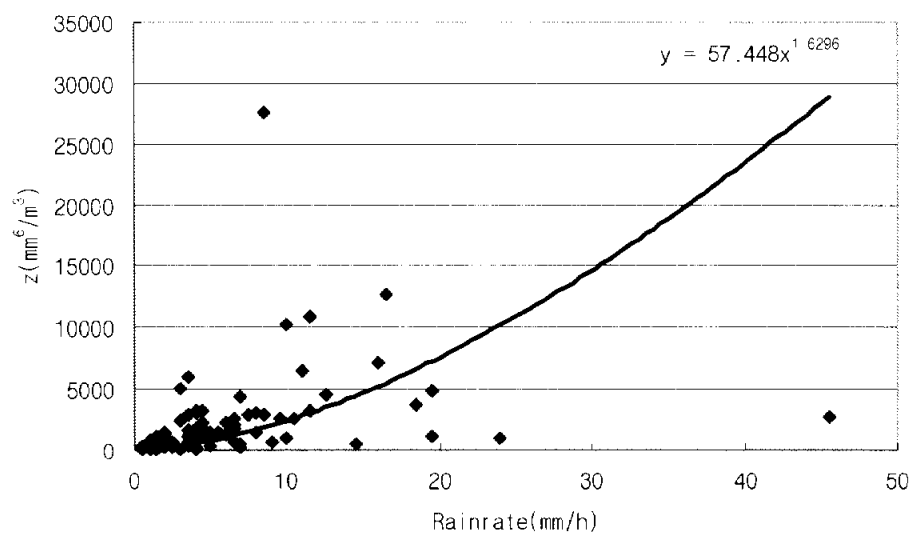


Figure 52. Same as Figure 53 but for typhoon RUSA

4. 결 론

본 연구에서는 레이더강우량 추정을 위해 2002년 태풍 RAMMASUN과 RUSA통과시 진도 S-band Doppler Radar와 7개 지점의 AWS강우강도 자료를 비교분석하였다. 또한, 태풍과 같은 집중호우시 S-band Doppler 레이더 자료의 적합성과 신뢰성을 검토하였다. 그결과

- 1) 집중호우 30mm/h이상 또는 하루에 80mm이상이 강우가 내릴때 진도레이더를 이용하여 태풍 RAMMASUN과 RUSA가 한반도 남서지역을 통과하는 전 관측 지점에서의 z -R관계식은 $z=27R^{1.4}$ 였다.
- 2) TS규모인 태풍 RAMMASUN인 경우 $z=13.1R^{1.04}$ 값을 나타내었고 STS규모인 태풍 RUSA는 $z=57.4R^{1.62}$ 값을 나타내었다.
- 3) 기상현업에서 사용중인 $z=200R^{1.6}$ 로 추정한 강우강도는 태풍과 같은 강수규모시 올바른 강수량 측정이 될 수 없고, 태풍규모에 따라 적절한 z -R관계식 산출이 필요하다.
- 4) 관측지점별 보정된 z -R관계식으로 얻어진 강우강도와 AWS관측자료 강우강도 간에는 매우 유의한 상관성을 가졌으나, 지역별로 다소 강우강도의 차이가 있다. 이는 레이더 반사도 선정에 보다 대표성있고 신뢰성있는 접근 방법이 필요하며, S-band레이더의 Range Gating의 적합한 조정이 필요한 것으로 사료된다.
- 5) 태풍 RAMMASUN에 비하여 태풍 RUSA가 대류형 강수가 많았으며, 풍속의 강약에 따라서도 z -R계수 a , b 의 값의 차이가 많이 나타났다.

이상에서 태풍통과시 진도레이더에서 발생한 강수에 맞는 z -R관계식을 통해 강우율을 추정한 결과 강우강도, 지속시간등에 따라 상수 a 와 b 의 값이 다소 차이를 보였으며 값은 12.2에서 59.4까지, 1.08에서 1.82의 범위를 각각 나타내고 있어 강수현상에 따른 자료들을 계속적으로 축적하여 대표성을 가질 수 있는 z -R관계식을 산출할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 기상연구소, 1987 : 이동식 기상레이더 영상 특성분석을 통한 강우량 계산. MR87-3, 64-75
2. —————, 1989 : 레이더 에코로 계산된 강우량의 정확도 평가 연구. MR89-3, 15-26
3. —————, 1990 : 레이더를 이용한 강우 단시간 예측의 정성 및 정량적인 평가(I). MR90-2, 29-67
4. —————, 1991 : 레이더를 이용한 강우 단시간 예측의 정성 및 정량적인 평가(II). MR91-2, 31-40
5. —————, 1995 : 각 레이더 관측지점에서 에코 강도레벨 기준 값 결정 및 합성 알고리즘 개발, MR95R0-04, 15-32
6. 이정환, 1994 : 레이더를 이용한 시간 강수량에 대한 연구. 서울대학교, 이학석사학위논문, 86
7. 임규호, 이정환, 1996 : 레이더 에코와 관측소 강수를 합성도에 나타난 강수 영역의 이동. 한국기상학회지, Vol. 32, No. 4, 497-509
8. 오현미, 서애숙, 하경자, 송병현, 김정희 2001 : TRMM/PR 자료와 레이더 강수 에코와의 비교. 대기지 11권 3호, 242-245
9. 정영근, 김성삼, 1977 : Radar Echo에 의한 대류성 강수분포의 특성 연구. 한국기상학회지. vol. 13, NO. 1, 40-43
10. 정순화, 김익수, 오미림, 엄원근, 1992 : 레이더를 이용한 강우 단시간 예측의 정성 및 정량적인 접근. 한국기상학회지. Vol. 28, NO. 3, 296-313
11. 한국수자원공사, 1996 : 레이더를 이용한 유역강우 산정기법 연구 (2차). 76-78

12. Austin A. M., 1987 : Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1053-1070
13. Best, A.C., 1950 : The size distribution of raindrops. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 76, 16-36
14. Collier, C.G., 1989 : Applications of Weather Radar Systems : A Guide to Uses of Radar Data in Meteorology and Hydrology. John Wiley & Sons, 289.
15. Fujiwara, M., 1965 : Raindrop-size Distribution from Individual Storms. *J. of the Atmos. sci.*, Vol 22, 585-591
16. Joss J. and A. Waldvogel, 1969 : Raindrop size distribution and sampling size errors. *Journal of the Atmos. Sci.*, 26, 566-569
17. Marshall, J. S. and W. M. K. Palmer, 1948 : The distribution of raindrops with size. *J. Meteorol.*, 5, 165-166.
18. Probert-Jones, J.R., 1960 : The radar equation in meteorology. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 88, 485-495
19. Tokay A and D. A. Short, 1996 : Evidence from tropical raindrop spectra of the origin rain from stratiform versus convective clouds. *J. Appl. Meteor.*, 35, 355-371.

감사의 글

짧지만 귀중한 시간이었습니다. 그동안 부족한 사람을 받아주고 이끌어 주신 이동인교수님께 존경과 함께 깊은 감사의 마음을 전합니다. 그리고 본 논문의 심사와 더불어 옆에서 여러 가지 힘이 되어주시고, 많은 조언을 아끼지 않으신 한영호교수님과 오재호교수님께 고마움을 전합니다.

처음 대학원 문을 두드릴 때 좋은 말씀으로 격려와 지도를 해주신 변희룡교수님과 김영섭교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

힘든 와중에도 힘든 기색 앎으시고 지켜봐주신 부모님과 장인장모님, 형, 형수님, 누나, 매형들께 고마움을 어떻게 다 전해야 할지 모르겠습니다. 모든 것을 당신 들께 돌리겠습니다.

특히, 대학원진학과 함께 물심양면으로 힘이 되어주신 둘째형, 양명현(토마)신부님과 큰누나께 더할 수 없는 고마움을 전합니다.

많은 관심과 애정으로 내게 힘을 실어 주신 부산지방기상청 이성재청장님과 직장생활에서 부딪치는 여러 가지 문제들을 자상하게 풀어주신 부산지방기상청 해양기상과 박원우과장님, 조진대 사무관님, 기상2000호 박영철선장님께도 존경과 함께 머리숙여 인사를 올립니다.

그리고 처음 기상청에 전입되어 왔을 때 기상기사공부에서부터 대기과학의 길을 보여주신 지금은 기상홍보과장님이신 윤석훈과장님과 김동호 예보관님께도 깊은 감사의 마음을 전합니다.

인생에 좋은 경험을 맡겨주시고 인생을 살아가는 여러 가지 길들을 보여주신 탐라대 고장권총장님과 제주대 서두옥교수님께도 깊은 감사를 전합니다.

그리고, 나와 같은 길을 가면서 옆에서 힘이 되어주고 많은 도움을 준 제주지방기상청 기후정보과에 근무하는 큰처남 장승민과 부산지방기상청 기후정보과 이상훈씨에게 고마움을 전합니다.

내 가족이 힘들 때 옆에서 여러 도움을 준 작은 처남에게도 고마움을 전한다.

많은 고마운 분들이 있어서 제 길을 곳곳이 걸어 갈 수 있었던 원동력이 아닌가 싶습니다.

타지 생활의 어려울 때 옆에서 따뜻한 동료애와 조언을 아끼지 않았던 기상2000호 직원 여러분, 정성권주임님, 박인태주임님, 신미정씨...

모든분들께 감사를 드립니다.

마지막으로 직장생활과 대학원진학 때문에 남편과 떨어져 살면서 내 가정을 잘 꾸렸고 부족한 남편 때문에 마음고생이 심했던 내게 있어 한 사람, 내 사랑 장경혜여사, 내 아내와 아빠와 떨어져 살면서 마음고생과 함께 힘든 생활을 했던 양은성, 양희성. 내 아들들에게 작은 결실을 남겨주고자 합니다.