

ORIGINAL ARTICLE

기후변화를 고려한 김해시의 지역별 확률강우강도식 개발

우선봉, 박종길¹⁾, 최선호²⁾, 윤종성^{3)*}

(☞)동우이엔씨, ¹⁾인제대학교 환경공학부, ²⁾창신대학교 건설플랜트공학과, ³⁾인제대학교 토목도시공학부

The Regional Rainfall Intensity Formula Development Considering Climate Change of Gimhae City

Sun-Bong Woo, Jong-Kil Park¹⁾, Sun-Ho Choi²⁾, Jong-Sung Yoon^{3)*}

Ph.D. Dong-u Enc., Daegu 701-600, Korea

¹⁾Department of Environmental Engineering, Inje Univ., Gimhae 621-749, Korea

²⁾Department of Civil and Plant Engineering, Changshin Univ., Changwon 630-764, Korea

³⁾School of Civil and Urban Engineering, Inje Univ., Gimhae 621-749, Korea

Abstract

The regional rainfall intensity formula for Gimhae in Gyeongsangnam-do province is developed in this study. The nine points of rainfall observations were selected. In order to demonstrate the accuracy and the versatility of the proposed rainfall intensity formula, three regions under the jurisdiction of the Meteorological Agency near Gimhae, namely Busan, Changwon, Miryang observatories were selected. The present formula can be effectively employed for various design of hydraulic structures in Gimhae area since it is divided into several refined regions.

Key words : Annual maximum rainfall, Probability distribution, Probability rainfall intensity formula

1. 서론

최근의 지구온난화 등의 영향으로 강우사상의 크기, 특성, 발생빈도와 관련한 지역별 편차가 크게 발생되고 있고, 특히 집중호우 발생시 짧은 강우지속기간에 특정 지역을 중심으로 매우 국지적인 강한 강우강도를 가진 호우가 빈번하게 발생되고 있다. 최근 10년간 기후변화에 따른 확률강우량(Probability Rainfall, PR)의 변화를 분석하기 위해 관측자료가 20년 이상인 기상관측소 68개 지점의 자료를 관측시작일로부터 1999년까지 관측자

료와 2009년까지 관측자료로 나누어 확률강우량의 변화를 분석 결과 지점과 재현기간에 따라 차이는 있었지만 대부분의 지역에서 확률강우량이 증가하는 것으로 분석되었다. 이는 최근 지구온난화 등에 따른 기후변화로 극한 호우사상의 발생이 과거에 비해 커지고 있기 때문인 것으로 판단된다(National Emergency Management Agency, 2010).

각종 개발사업에 따른 재해예방사업과 치수계획을 위한 수공구조물의 설계 및 하천기본계획 수립 등에서 가장 중요한 기준은 수공구조물의 설계빈도 및 하천개

Received 5 February, 2014; Revised 3 June, 2014;

Accepted 2 July, 2014

*Corresponding author : Jong-Sung Yoon, School of Civil and Urban Engineering, Inje Univ., Gimhae 621-749, Korea

Phone: +82-55-320-3434

E-mail: civyunjs@inje.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

수의 계획빈도와 지속기간에 해당하는 확률강우량을 산정하여 홍수량을 결정한 것이라 할 수 있다.

국내에서는 강우량 자료의 빈곤에도 불구하고 1963년부터 기왕의 자기 우량계 설치 지점의 자료를 이용하여 다수의 연구가 발표된 바 있다(Choi et al., 2000; Choi and Park, 1966; Heo et al., 1999; Ko, 1980; Lee, 1967, 1977, 1987; Lee and Byun, 1969; Lee and Lee, 1999; Lee and Park, 1992; Lee et al., 1993; Yoon, 1971). 이 연구들은 대부분이 서울, 인천과 같은 특정 지역과 주요 지점에 관한 연구로서 현재 널리 사용되고 있으나, 자료 기간과 지점수의 부족 등으로 말미암아 우리나라 전역에 대한 확률강우량 산정에는 미흡한 점이 많은 실정이었다. 확률강우강도식(Probability Rainfall Intensity Formula, PRIF) 개발과 관련된 최근의 연구결과를 살펴보면, National Emergency Management Agency(2010)에서는 『A study on setting objectives of urban disaster prevention performance for considering climate change』를 통해 기상청 산하 전국 강우관측소 68개 지점을 대상으로 Thiessen 가중치를 적용하여 지자체별 평균 확률강우량 및 통합형 확률강우강도식을 유도하였다. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2011)에서는 『A study on the improvement and supplement of the rainfall probability』를 통해 강우관측기록이 20년 이상이고, 관측기록이 양호한 기상청 산하 전국 측후소 및 관측소 69개 지점을 대상으로 지점별 강우지속기간별로 확률강우량을 산정하여 기존의 한국확률강우량도를 개선 및 보완하였다.

이와 같이 전국의 여러 지점에 대해 각각의 확률강우량을 구한 연구는 여러 차례 있었으나 최근 기후변화로 인한 지역별 집중호우가 빈발함에 따라 보다 세분화된 지역별 강우사상의 특성에 따른 확률강우량의 산정이 필요한 실정이다. 이에 본 연구는 각종 수공구조물의 수문학적 설계기준으로 사용되고 있는 확률강우량 및 확률강우강도식을 경상남도 김해시를 대상으로 지역별로 세분화하여 제안하고자 하고, 이를 토대로 김해시 지역의 각종 수공구조물 설계시 적합한 계획강우량을 채택할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 연구대상지역의 현황

2.1. 김해시의 행정현황

김해시의 총면적은 463 km²로서 우리나라의 총면적의 약 0.5%에 해당하며, 김해시의 행정현황은 1개읍(진영읍), 7개면(장유면, 주촌면, 진례면, 한림면, 생림면, 상동면, 대동면), 1개지역(동지역)으로 이루어져 있으며, 북쪽은 낙동강을 경계로 밀양시·양산시와 접하고, 동쪽은 낙동강 건너 양산시·부산광역시 강서구, 남쪽은 부산·진해시, 서쪽은 창원시에 접하고 있다.

2.2. 김해시의 지형특성

김해시의 지형현황은 Fig. 1 및 Fig. 2와 같이 북동부의 경우 소백산맥의 산지가 기복하여 평지가 적고, 남부는 낙동강의 본 지류를 따라 김해평야를 이루고 있으며, 서부는 비음산, 용지봉, 불모산, 팔판산, 굴암산이 병풍처럼 펼쳐져 창원시, 진해시와 경계를 이루며, 중부에는

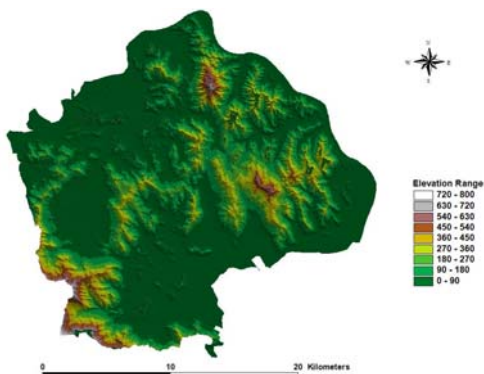


Fig. 1. Elevation analysis of study area.

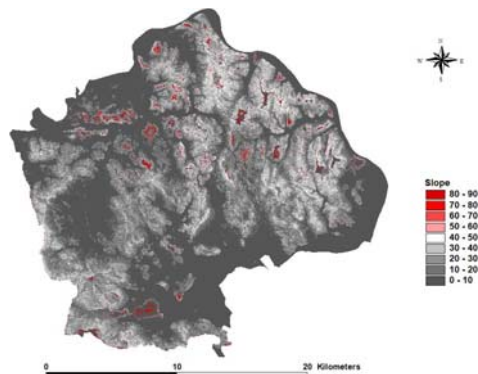


Fig. 2. Slope analysis of study area.

신어산, 북부에는 무척산, 석룡산, 금동산 등 산지가 분포하며 전체적으로 북동측에서 남서측으로 이어지는 산악지형에 의해 지역이 양분되고 있다.

3. 강우자료의 구축

3.1. 김해시 관내 및 인근 우량관측소 현황

김해시 관내의 우량관측소 현황은 Fig. 3과 같이 총 9개 지점을 운영하고 있고, 김해시 인근의 기상청 관할 관측소는 3개 지점, 국토교통부 관할 관측소는 7개 지점에서 측정되고 있다.

3.2. 지점별 연평균강우량의 분포

강우의 공간적인 특성을 파악하기 위하여 김해시 관내 및 인근의 우량관측소에 대해 연평균강우량을 산정하였고, 김해시 관내 우량관측소 강우자료의 기간은 1999년부터 2012년까지를 대상으로 하였다. 김해시 관

내 및 인근에 위치한 우량관측소의 연평균강우량을 산정한 결과 Table 1 및 Fig. 4와 같이 김해시 지역을 중심으로 서·남측 지역의 연평균강우량이 동·북측 지역에 비해 대체적으로 크게 나타나는 결과를 잘 보여주고 있다. 이는 연구대상지역이 김해시로 한정되었음에도 불구하고 연평균강우량의 공간적인 특성차이가 크게 나타남을 알 수 있다.

3.3. 우량관측소별 연최대강우량 산정

과거에는 설계강우의 지속기간을 대표 지속기간 하나로 결정하였으므로 수집 대상 강우량자료가 간단하였지만, 최근에는 임계지속기간(critical duration) 개념이 도입되어 최대한 많은 지속기간의 강우량자료를 수집하여야 한다. 또한 수문분석에 필요한 강우량자료는 고정시간 강우량이 아닌 임의시간 강우량자료이므로, 자기기록지 등에서 임의시간 강우량자료를 직접 수집하여야 하나 현실적으로 곤란한 경우가 많다. 따라서 이



1) KMA : Korea Meteorological Administration

2) MOLIT : Ministry of Land, Infrastructure and Transport

Fig. 3. Rainfall observations of study area.

Table 1. Annual average rainfall of observatory

| Observatory | Jurisdiction | TM(Transverse Mercator) Coordinate System | | Annual average rainfall (mm) |
|-------------|--------------|---|--------------|---------------------------------|
| | | Easting, X | Northing, Y | |
| Dong area | Gimhae-si | 371,628.1140 | 193,798.0490 | 1,344 |
| Jinyeong | Gimhae-si | 357,555.5529 | 201,905.7561 | 1,349 |
| Jangyu | Gimhae-si | 365,028.6145 | 190,625.9692 | 1,526 |
| Juchon | Gimhae-si | 366,575.8657 | 194,481.3241 | 1,407 |
| Jillye | Gimhae-si | 359,017.7737 | 195,800.9964 | 1,516 |
| Hallim | Gimhae-si | 363,807.8850 | 203,815.1331 | 1,259 |
| Saengnim | Gimhae-si | 368,092.5303 | 204,721.9838 | 1,314 |
| Sangdong | Gimhae-si | 375,520.7772 | 202,641.7898 | 1,434 |
| Daedong | Gimhae-si | 380,197.2733 | 195,438.2661 | 1,394 |
| Busan | KMA | 385,142.8953 | 180,266.4587 | 1,515 |
| Changwon | KMA | 343,211.2208 | 186,820.7596 | 1,538 |
| Miryang | KMA | 358,218.9731 | 222,722.3901 | 1,243 |
| Gimhae | MOLIT | 370,684.4500 | 194,996.2414 | 1,247 |
| Sangbuk | MOLIT | 387,418.1283 | 215,769.4242 | 1,393 |
| Miryang | MOLIT | 360,923.1762 | 222,082.3930 | 1,154 |
| Susan | MOLIT | 356,319.9175 | 212,089.6472 | 1,130 |
| Yangsan | MOLIT | 384,379.1244 | 206,846.4208 | 1,340 |
| Samrangjin | MOLIT | 365,445.7574 | 210,562.6047 | 1,217 |
| Myongji | MOLIT | 375,506.3164 | 180,349.7577 | 1,369 |

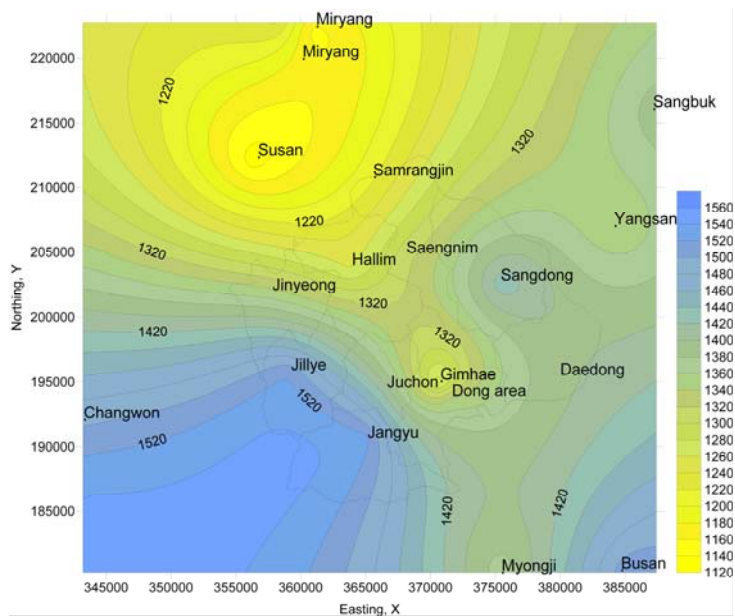


Fig. 4. Distribution of annual average rainfall.

Table 2. The result of AMR estimation for fixed time at Jillye-myeon observation

| Year | The Result of AMR Estimation for Fixed Time (Unit : mm) | | | | | | | | | |
|------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 hr | 2 hr | 3 hr | 4 hr | 6 hr | 9 hr | 12 hr | 15 hr | 18 hr | 24 hr |
| 1999 | 54.0 | 64.0 | 83.0 | 91.0 | 101.0 | 115.0 | 129.0 | 144.0 | 145.0 | 165.0 |
| 2000 | 47.0 | 71.0 | 81.0 | 95.0 | 104.0 | 106.0 | 110.0 | 119.0 | 134.0 | 144.0 |
| 2001 | 25.0 | 30.0 | 36.0 | 40.0 | 52.0 | 76.0 | 92.0 | 105.0 | 116.0 | 145.0 |
| 2002 | 36.0 | 58.0 | 87.0 | 106.0 | 138.0 | 158.0 | 176.0 | 185.0 | 190.0 | 195.0 |
| 2003 | 22.0 | 43.0 | 64.0 | 77.0 | 96.0 | 118.0 | 129.0 | 135.0 | 138.0 | 139.0 |
| 2004 | 68.0 | 80.0 | 87.0 | 94.0 | 106.0 | 119.0 | 137.0 | 151.0 | 151.0 | 152.0 |
| 2005 | 71.0 | 98.0 | 122.0 | 126.0 | 172.0 | 176.0 | 177.0 | 189.0 | 189.0 | 191.0 |
| 2006 | 79.0 | 92.0 | 115.0 | 151.0 | 189.0 | 220.0 | 226.0 | 227.0 | 227.0 | 227.0 |
| 2007 | 36.0 | 53.0 | 59.0 | 65.0 | 82.0 | 94.0 | 97.0 | 97.0 | 97.0 | 101.0 |
| 2008 | 25.0 | 34.0 | 46.0 | 51.0 | 58.0 | 67.0 | 68.0 | 70.0 | 87.0 | 107.0 |
| 2009 | 61.0 | 95.0 | 127.0 | 139.0 | 165.0 | 175.0 | 202.0 | 203.0 | 203.0 | 203.0 |
| 2010 | 32.0 | 58.0 | 75.0 | 89.0 | 125.0 | 153.0 | 160.0 | 164.0 | 172.0 | 177.0 |
| 2011 | 46.0 | 59.0 | 61.0 | 67.0 | 79.0 | 124.0 | 140.0 | 150.0 | 159.0 | 165.0 |
| 2012 | 35.0 | 42.0 | 51.0 | 58.0 | 61.0 | 94.0 | 107.0 | 117.0 | 143.0 | 174.0 |

의 대안으로 시우량(clock-hour rainfalls) 자료를 임의 시간 강우량자료로 변환하는 방법을 주로 사용함에 따라 우량관측소별로 먼저 지속기간별 시우량 자료를 1~24시간까지 1시간 간격으로 수집하였고, 우량관측소 지점의 기록년수(length of record)에 대한 주요 지속기간별 연최대강우량(Annual Maximum Rainfall, AMR)을 사용하여 임의시간 강우량자료의 변환에 이용하였다. Table 2는 진례면 관측소의 지속기간별 고정시간 연최대강우량을 산정한 결과를 나타내고, 나머지 관측소에 대해서도 동일한 방법으로 산정하였다.

한편, 수문분석에 필요한 자료는 임의시간에 대한 최대강우량이므로 Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2011)에서 제시한 환산계수를 회귀분석하여 전 지속기간에 대해 회귀분석식(Fig. 5 참조)을 산정하였고, 산정식은 다음과 같다.

$$Y = 0.1349X^{-1.3999} + 1.0008 \quad (1)$$

이와 같이 산정된 회귀분석식을 이용하여 Table 3과 같이 지속기간별 고정시간 최대강우량을 지속기간별 임의시간 최대강우량으로 변환하여 사용하였다.

김해시 관내 우량관측소의 주요 지속기간별 임의시

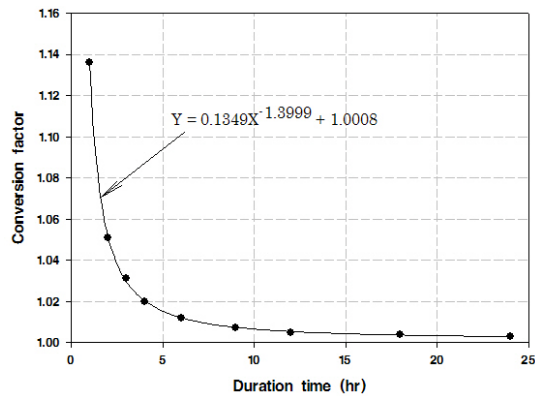
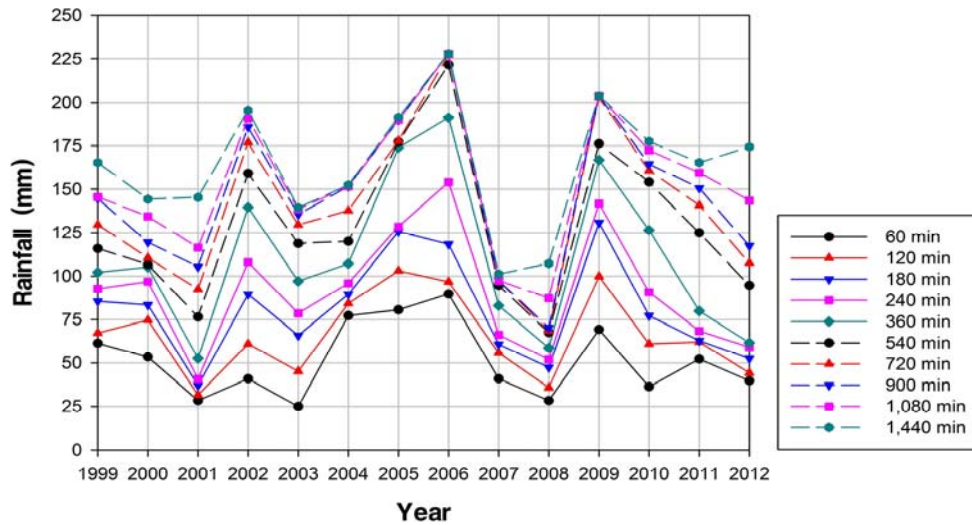


Fig. 5. Regression curve for a random time.

간 연최대강우량을 산정한 결과 Fig. 6과 같이 대부분의 관측소에서 여름철 태풍 및 집중호우로 인한 영향으로 2002년, 2005년, 2009년에 연최대강우량이 높게 나타났다. 진영읍, 진례면, 생림면, 상동면, 대동면 관측소에서는 태풍 에위니아의 영향으로 인해 2006년에도 연최대강우량이 높게 나타난 반면, 2001년, 2007년, 2008년에는 전국적으로 강수량이 적은 기상학적 가뭄으로 인한 영향으로 김해시 관내의 대부분의 관측소에서도 연최대강우량이 낮게 나타났다. 한편, 장유면 관측소의 연

Table 3. The result of AMR estimation for random time at Jillye-myeon observation

| Year | The result of AMR estimation for random time (unit : mm) | | | | | | | | | |
|------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|
| | 60 min | 120 min | 180 min | 240 min | 360 min | 540 min | 720 min | 900 min | 1,080 min | 1,440 min |
| 1999 | 61.3 | 67.3 | 85.5 | 92.8 | 102.2 | 115.8 | 129.6 | 144.6 | 145.5 | 165.4 |
| 2000 | 53.4 | 74.7 | 83.4 | 96.9 | 105.2 | 106.7 | 110.5 | 119.5 | 134.4 | 144.3 |
| 2001 | 28.4 | 31.6 | 37.1 | 40.8 | 52.6 | 76.5 | 92.5 | 105.4 | 116.4 | 145.3 |
| 2002 | 40.9 | 61.0 | 89.6 | 108.1 | 139.6 | 159.1 | 176.9 | 185.7 | 190.6 | 195.5 |
| 2003 | 25.0 | 45.2 | 65.9 | 78.6 | 97.1 | 118.8 | 129.6 | 135.5 | 138.5 | 139.4 |
| 2004 | 77.2 | 84.2 | 89.6 | 95.9 | 107.2 | 120.0 | 137.7 | 151.6 | 151.6 | 152.4 |
| 2005 | 80.6 | 103.1 | 125.6 | 128.5 | 174.0 | 177.2 | 177.9 | 189.8 | 189.8 | 191.5 |
| 2006 | 89.7 | 96.8 | 118.4 | 154.0 | 191.2 | 221.5 | 227.2 | 228.0 | 228.0 | 228.0 |
| 2007 | 40.9 | 55.8 | 60.8 | 66.3 | 83.0 | 94.7 | 97.5 | 97.5 | 97.5 | 101.2 |
| 2008 | 28.4 | 35.8 | 47.4 | 52.0 | 58.7 | 67.5 | 68.4 | 70.3 | 87.3 | 107.3 |
| 2009 | 69.3 | 99.9 | 130.8 | 141.8 | 166.9 | 176.2 | 203.0 | 203.9 | 203.9 | 203.9 |
| 2010 | 36.3 | 61.0 | 77.2 | 90.8 | 126.5 | 154.1 | 160.8 | 164.6 | 172.5 | 177.5 |
| 2011 | 52.2 | 62.1 | 62.8 | 68.4 | 79.9 | 124.9 | 140.7 | 150.6 | 159.5 | 165.4 |
| 2012 | 39.7 | 44.2 | 52.5 | 59.2 | 61.7 | 94.7 | 107.5 | 117.4 | 143.5 | 174.4 |

**Fig. 6.** The result of AMR at Jillye-myeon.

최대강우량은 2009년과 2010년의 결과가 동일하게 산정되었다. 이는 2010년에 장유면 관측소의 우량관측기에 대한 점검을 실시하는 과정에서 강우량 수집 서버로의 전송오류가 발생됨에 따라 현재 관령기관에서 데이터를 복구하고 있는 것으로 조사된 바, 2010년의 연최대강우량 산정결과는 금회 연구대상에서 제외하기로

한다.

김해시 인근에 기상청 관할의 우량관측소는 앞서 언급한 바와 같이 부산, 창원, 밀양관측소가 있다. 연최대강우량 산정은 김해시 관내 우량관측소의 산정방법과 동일하게 시우량 자료를 임의시간 강우량자료로 변환하는 방법을 사용하였다.

3.4. 지점별 연최대강우량의 특성 비교

김해시 관내 우량관측소의 연최대강우량을 60분과 1,440분에 대해 비교한 결과 Fig. 7 및 Fig. 8과 같이 김해시 서·남측 지역(진영읍, 진례면, 주촌면, 동지역)의 연최대강우량이 동·북측 지역(한림면, 생림면, 상동면, 대동면)에 비해 대체적으로 크게 관측되었다.

최근 14년간(1999~2012)의 관측기록 중 시간최대강

우량은 주촌면이 96.0 mm(2005년)로 가장 크게 관측되었고, 다음으로 동지역 90.0 mm(2005년), 진영읍 85.0 mm(2005년) 순으로 나타났으며, 시간최대강우량의 평균값은 진례면이 45.5 mm로 가장 크고, 다음으로 진영읍, 주촌면, 동지역 순으로 나타났다. 또한, 일최대강우량은 주촌면이 271.6 mm(2002년)로 가장 크게 관측되었고, 다음으로 상동면 266.7 mm(2002년), 장유면 264.6

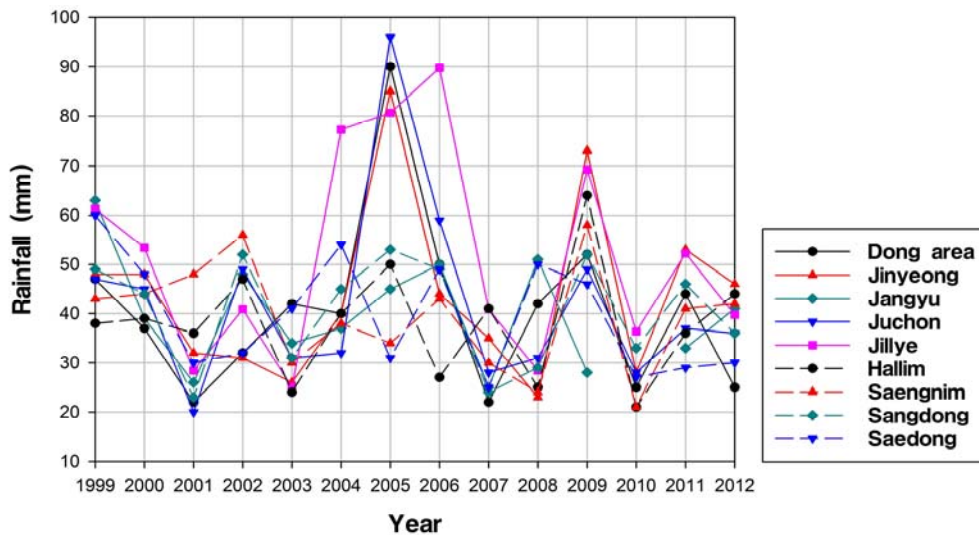


Fig. 7. Comparison of AMR at rainfall observatories within Gimhae-si (60 min).

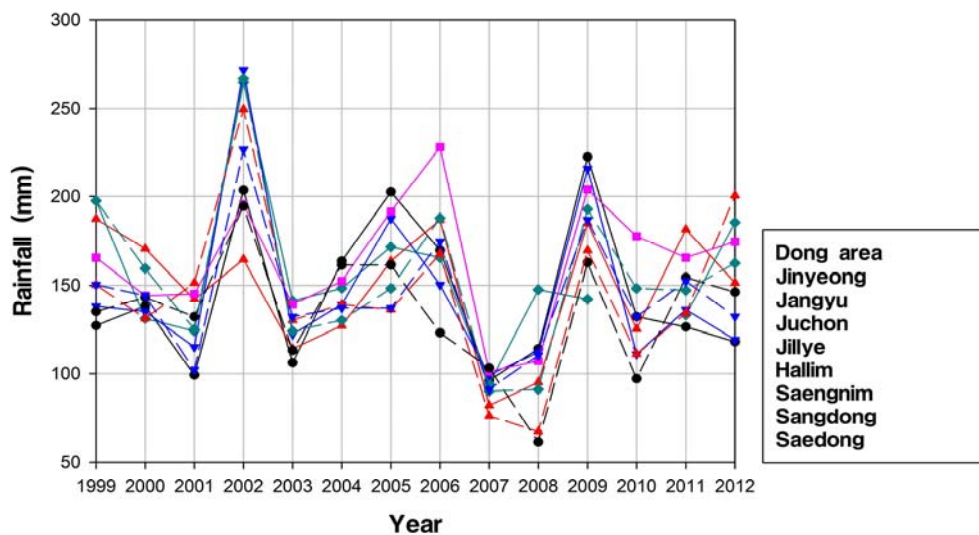


Fig. 8. Comparison of AMR at rainfall observatories within Gimhae-si (1,440 min).

mm(2002년) 순으로 나타났으며, 일최대강우량의 평균 값은 진례면이 163.7 mm로 가장 크고, 다음으로 장유면, 상동면, 진영읍 순으로 나타났다.

다음으로 김해시 인근 우량관측소의 연최대강우량을 60분과 1,440분에 대해 비교한 결과 Fig. 9 및 Fig. 10과 같이 부산관측소와 창원관측소의 연최대강우량이 대체적으로 크게 관측되었다.

최근 28년간(1985~2012)의 관측기록 중 시간최대강우량은 부산관측소가 106.0 mm(2008년)로 가장 크게 관측되었고, 다음으로 창원관측소 102.0 mm(2009년) 순으로 나타났으며, 시간최대강우량의 평균값에서도 부산관측소가 50.7 mm로 가장 크고, 다음으로 창원관측소, 밀양관측소 순으로 나타났다. 또한, 일최대강우량에서도 부산관측소가 462.0 mm(1991년), 310.9 mm(2009년)

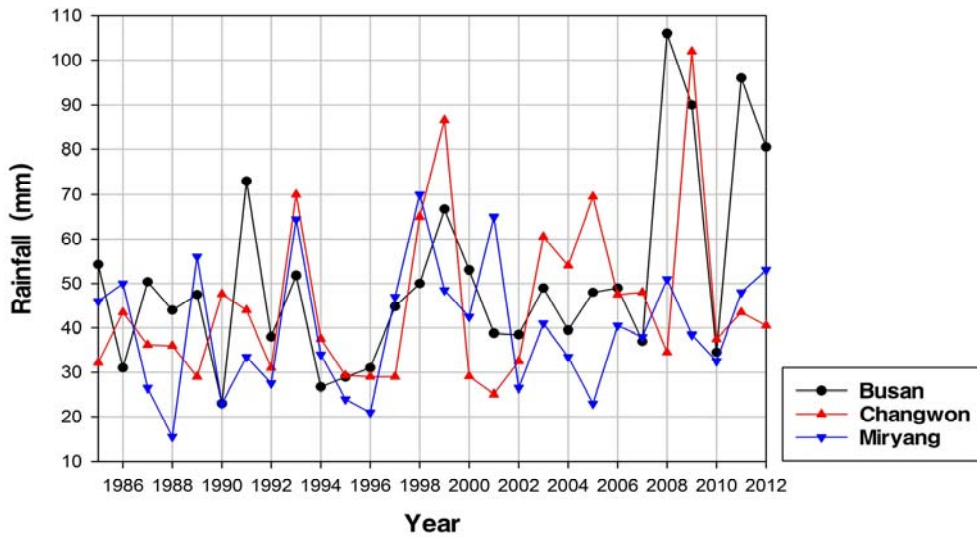


Fig. 9. Comparison of AMR at rainfall observatories near Gimhae-si (60 min).

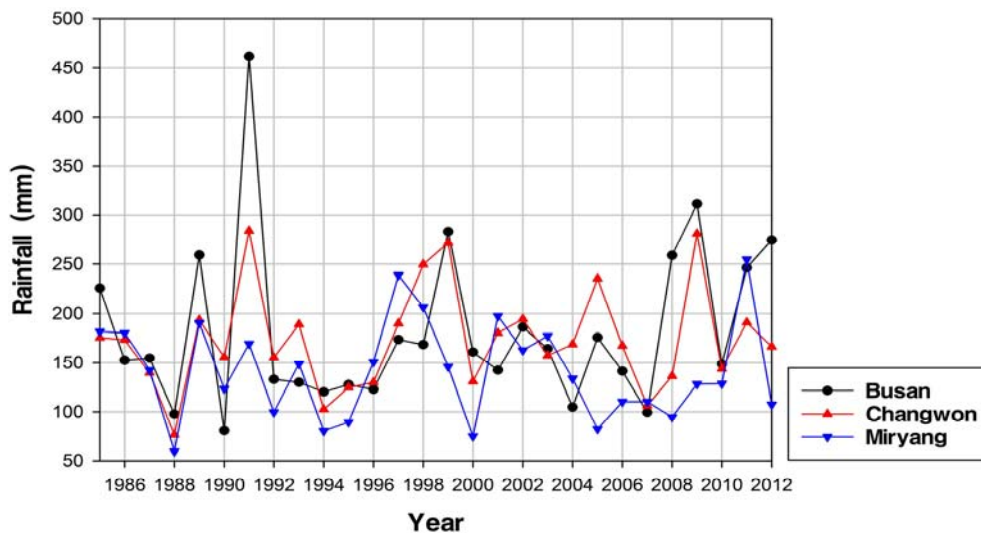


Fig. 10. Comparison of AMR at rainfall observatories near Gimhae-si (1,440 min).

로 가장 크게 관측되었고, 다음으로 창원관측소 283.8 mm(1991년) 순으로 나타났으며, 일최대강우량의 평균 값 역시 부산관측소(182.3 mm), 창원관측소(173.9 mm), 밀양관측소(141.8 mm) 순으로 나타났다.

4. 확률강우량 산정

4.1. 최적 확률분포형 채택

김해시 관내 및 인근에 위치한 우량관측소의 임의시간 연최대강우량 산정결과를 토대로 국립재난안전연구원에서 개발한 FARD2006 프로그램을 이용하여 빈도 해석을 실시하여 지점별 확률강우량을 산정하였다.

먼저 우량관측소별로 무작위성의 위배 여부를 검토하기 위하여 FARD2006 프로그램에서 제공되는 Anderson Correlogram Test, Run Test, Turing Point Test 등의 검정기법을 적용하였다. 해석 결과, 일부 예비 해석 기법에서 무작위성을 갖지 않는 것으로 나타난 지속기간들이 있지만 모든 분석 기법에서 동일하게 무작위성을 갖지 않는 것으로 나타난 자료는 없으므로 지속기간 자료 모두 빈도해석에 적합하다고 판단된다.

다음으로 매개변수의 적합성을 검토한 결과 모든 지속기간에 대해 4가지의 검정방법(χ^2 검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정, Probability plot

correlation coefficient 검정)을 모두 만족하는 것은 Gumbel 분포가 유일한 것으로 분석되어 본 연구에서 모든 관측소에 대해 최적 확률분포형은 Gumbel 분포형을 적용한 확률강우량을 채택하였다.

4.2. 지점별 확률강우량의 특성 비교

김해시 관내 우량관측소의 확률강우량을 60분에 대해 비교한 결과 Fig. 11과 같이 장유면을 제외한 김해시 서·남측 지역(진례면, 진영읍, 주촌면, 동지역)의 확률강우량이 동·북측 지역(대동면, 상동면, 한림면, 생림면)에 비해 대체적으로 크게 산정되었다. 이 중 진례면의 확률강우량이 상대적으로 가장 큰 것으로 산정되었고, 평균확률강우량에 비해 22.5 %가 증가하는 것으로 나타났으며, 다음으로 진영읍(14.0 %), 주촌면(11.2 %), 동지역(6.5 %) 순으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 한편, 한림면의 경우에는 평균확률강우량에 비해 12.1 %가 감소하는 것으로 나타났으며, 다음으로 생림면(11.8 %), 상동면(10.8 %), 대동면(9.7 %) 순으로 감소하는 것을 볼 수 있다.

반면, 지속기간 1,440분의 재현기간별 확률강우량 산정결과에서는 Fig. 12와 같이 금회 강우자료 분석기간이 14개년임에 따라 지속기간이 길어질수록 읍·면별 확률강우량의 차이가 크지 않는 것으로 분석되었다.

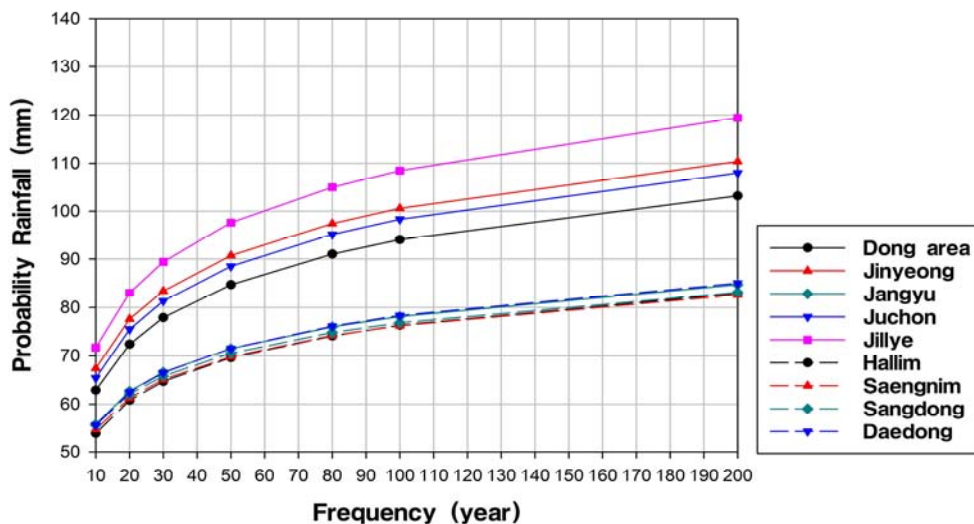


Fig. 11. Comparison of PR at rainfall observatories within Gimhae-si (60 min).

한편, 한림면(11.2%), 대동면(7.6%)의 경우에는 평균 확률강우량에 비해 감소하는 것으로 나타나 60분의 재현기간별 확률강우량 산정결과와 비슷한 양상을 나타내었다.

김해시 인근 우량관측소의 재현기간별 확률강우량을 60분과 1,440분에 대해 비교한 결과에서는 Fig. 13 및 Fig. 14와 같이 부산관측소의 확률강우량이 대체적

으로 크게 산정되었다.

먼저 지속기간 60분에 있어서는 부산관측소의 확률강우량이 상대적으로 가장 큰 것으로 산정되었고, 평균 확률강우량에 비해 15.1%가 증가하는 것으로 나타났으며, 창원관측소는 0.7%가 증가하였으며, 밀양관측소는 15.7%가 감소하는 것을 볼 수 있다. 지속기간 1,440분의 재현기간별 확률강우량 산정결과에서도 부산관측

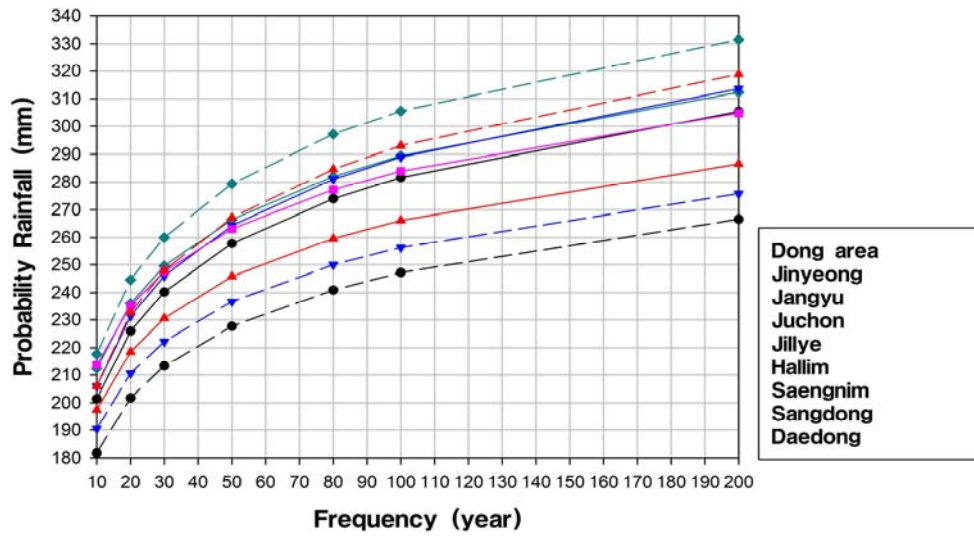


Fig. 12. Comparison of PR at rainfall observatories within Gimhae-si (1,440 min).

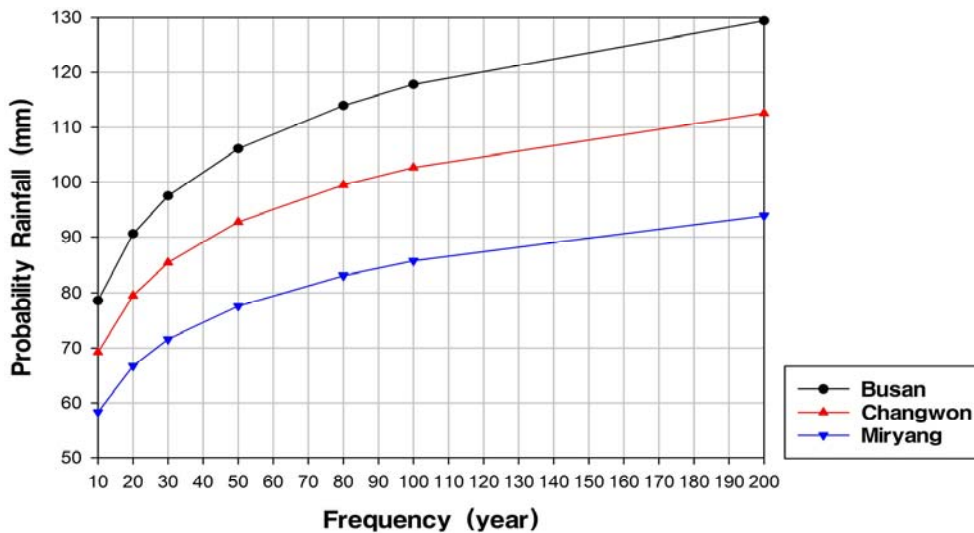


Fig. 13. Comparison of PR at rainfall observatories near Gimhae-si (60 min).

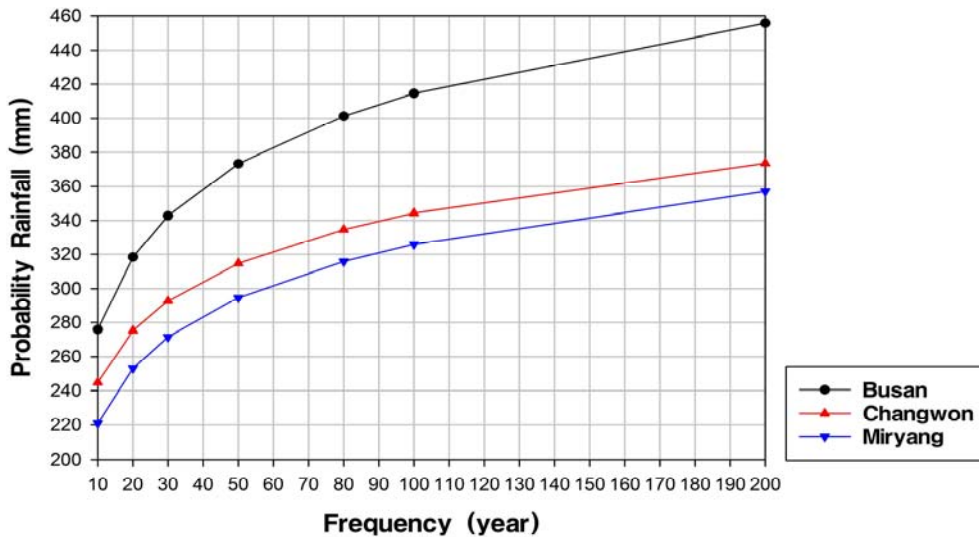


Fig. 14. Comparison of PR at rainfall observatories near Gimhae-si (1,440 min).

소의 확률강우량이 상대적으로 가장 큰 것으로 산정되었고, 평균확률강우량에 비해 13.7%가 증가하는 것으로 나타났으며, 창원관측소(3.6%), 밀양관측소(10.1%)는 감소하는 것을 볼 수 있다.

이와 같이 김해시 관내 및 인근의 우량관측소별 확률강우량 산정결과를 보면 앞장의 관측소별 임의시간 연 최대강우량의 산정결과에서 시간최대강우량과 일최대강우량의 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 나타나 Gumbel 분포형의 확률강우량 채택은 적절한 것으로 판단된다.

5. 확률강우강도식 산정

확률강우강도식은 강우강도-지속기간-재현기간(Intensity-Duration-Frequency, IDF)의 관계를 나타내는 식으로 산정된 지속기간별 확률강우량으로부터 유도할 수 있다. 이를 유도하는 이유는 강우량자료 수집이 곤란한 임의지속기간에 대한 확률강우량을 산정할 수 있도록 하기 위함이다.

본 연구에서 확률강우강도식은 국내 수공구조물의 설계에서 가장 많이 사용되고 있는 경험식인 Talbot형, Sherman형, Japanese형 중에서 앞서 산정한 방법별 상관관계수 및 편차 결과를 참고로 하여 가장 회귀식의 적합

Table 4. PRIF of Dong Area observatory

| Frequency | Division period | Parameter | | PRIF |
|-----------|-----------------------------|-----------|--------|---------------------------------|
| | | a | b | |
| 10 | Total (60 min~1,440 min) | 13,451 | 158.68 | $\frac{a}{t+b}$ (Talbot) |
| 20 | | 15,018 | 148.16 | |
| 30 | | 15,916 | 143.21 | |
| 50 | | 17,037 | 137.72 | |
| 80 | | 18,073 | 133.75 | |
| 100 | | 18,567 | 132.07 | |
| 200 | | 20,071 | 126.94 | |

Table 5. PRIF of Jinyeong-eup observatory

| Frequency | Division period | Parameter | | PRIF |
|-----------|-----------------------------|-----------|---------|--------------------------------------|
| | | a | b | |
| 10 | Short (60 min~180 min) | 415.83 | -1.5216 | $\frac{a}{\sqrt{t+b}}$ (Japanese) |
| 20 | | 467.89 | -1.6400 | |
| 30 | | 497.96 | -1.6908 | |
| 50 | | 535.25 | -1.7498 | |
| 80 | | 569.31 | -1.8001 | |
| 100 | | 585.57 | -1.8200 | |
| 200 | | 636.53 | -1.8653 | |
| 10 | Long (180 min~1,440 min) | 13,666 | 200.31 | $\frac{a}{t+b}$ (Talbot) |
| 20 | | 15,093 | 184.41 | |
| 30 | | 15,922 | 177.06 | |
| 50 | | 16,950 | 168.92 | |
| 80 | | 17,898 | 162.61 | |
| 100 | | 18,338 | 159.70 | |
| 200 | | 19,725 | 152.00 | |

Table 6. PRIF of Jangyu-myeon observatory

| Frequency | Division period | Parameter | | PRIF |
|-----------|-----------------------------|-----------|--------|-----------------------------|
| | | a | b | |
| 10 | Total (60 min~1,440 min) | 14,576 | 230.98 | $\frac{a}{t+b}$ (Talbot) |
| 20 | | 16,155 | 226.62 | |
| 30 | | 17,077 | 224.92 | |
| 50 | | 18,202 | 222.39 | |
| 80 | | 19,251 | 220.80 | |
| 100 | | 19,746 | 220.20 | |
| 200 | | 21,287 | 218.22 | |

Table 7. PRIF of Juchon-myeon observatory

| Frequency | Division period | Parameter | | PRIF |
|-----------|-----------------------------|-----------|--------|-----------------------------|
| | | a | b | |
| 10 | Total (60 min~1,440 min) | 13,961 | 168.38 | $\frac{a}{t+b}$ (Talbot) |
| 20 | | 15,719 | 159.91 | |
| 30 | | 16,728 | 155.91 | |
| 50 | | 17,990 | 151.68 | |
| 80 | | 19,147 | 148.37 | |
| 100 | | 19,692 | 146.85 | |
| 200 | | 21,394 | 143.15 | |

Table 8. PRIF of Jillye-myeon observatory

| Frequency | Division period | Parameter | | PRIF |
|-----------|-----------------------------|-----------|--------|---------------------------------|
| | | a | b | |
| 10 | Total (60 min~1,440 min) | 14,462 | 156.27 | $\frac{a}{t+b}$ (Talbot) |
| 20 | | 15,884 | 138.24 | |
| 30 | | 16,709 | 129.99 | |
| 50 | | 17,726 | 120.70 | |
| 80 | | 18,671 | 113.64 | |
| 100 | | 19,118 | 110.66 | |
| 200 | | 20,510 | 102.50 | |

Table 9. PRIF of Hallim-myeon observatory

| Frequency | Division period | Parameter | | PRIF |
|-----------|---------------------------|-----------------------------|--------|---------------------------------|
| | | a | b | |
| 10 | Short (60 min~180 min) | 8,822.6 | 103.11 | $\frac{a}{t+b}$ (Talbot) |
| 20 | | 9,570.8 | 97.04 | |
| 30 | | 10,005 | 94.28 | |
| 50 | | 10,583 | 91.85 | |
| 80 | | 11,093 | 89.50 | |
| 100 | | 11,331 | 88.37 | |
| 200 | | 12,085 | 85.69 | |
| 10 | | Long (180 min~1,440 min) | 12,823 | |
| 20 | 14,289 | | 244.44 | |
| 30 | 15,157 | | 245.92 | |
| 50 | 16,219 | | 246.55 | |
| 80 | 17,192 | | 247.03 | |
| 100 | 17,652 | | 247.26 | |
| 200 | 19,083 | | 248.02 | |

Table 10. PRIF of Saengnim-myeon observatory

| Frequency | Division period | Parameter | | PRIF |
|-----------|---------------------------|-----------------------------|---------|----------------------------------|
| | | a | b | |
| 10 | Short (60 min~180 min) | 409.20 | 0.49014 | $\frac{a}{t^b}$ (Sherman) |
| 20 | | 471.42 | 0.49730 | |
| 30 | | 507.44 | 0.50076 | |
| 50 | | 550.20 | 0.50371 | |
| 80 | | 594.12 | 0.50770 | |
| 100 | | 612.56 | 0.50870 | |
| 200 | | 673.40 | 0.51239 | |
| 10 | | Long (180 min~1,440 min) | 14,898 | |
| 20 | 16,970 | | 300.91 | |
| 30 | 18,170 | | 304.89 | |
| 50 | 19,663 | | 309.05 | |
| 80 | 21,034 | | 312.44 | |
| 100 | 21,692 | | 314.38 | |
| 200 | 23,692 | | 318.15 | |

Table 11. PRIF of Sangdong-myeon observatory

| Frequency | Division period | Parameter | | PRIF |
|-----------|-----------------------------|-----------|--------|-----------------------------|
| | | a | b | |
| 10 | Total (60 min~1,440 min) | 15,056 | 213.53 | $\frac{a}{t+b}$ (Talbot) |
| 20 | | 17,045 | 213.37 | |
| 30 | | 18,186 | 213.21 | |
| 50 | | 19,624 | 213.33 | |
| 80 | | 20,928 | 213.27 | |
| 100 | | 21,552 | 213.40 | |
| 200 | | 23,472 | 213.35 | |

Table 12. PRIF of Daedong-myeon observatory

| Frequency | Division period | Parameter | | PRIF |
|-----------|-----------------------------|-----------|--------|-----------------------------|
| | | a | b | |
| 10 | Total (60 min~1,440 min) | 12,947 | 189.45 | $\frac{a}{t+b}$ (Talbot) |
| 20 | | 14,333 | 183.85 | |
| 30 | | 15,128 | 180.90 | |
| 50 | | 16,122 | 177.82 | |
| 80 | | 17,041 | 175.67 | |
| 100 | | 17,470 | 174.52 | |
| 200 | | 18,808 | 171.52 | |

도가 높은 경험식을 채택하였고, 확률강우강도식 산정은 김해시 읍·면별에 대한 우량관측소별 확률강우량을 이용하였다.

6. 결론

본 연구는 각종 수공구조물의 수문학적 설계기준으로 사용되고 있는 확률강우량을 경상남도 김해시를 대상으로 지역별로 세분화하여 산정하고, 그에 따른 확률강우강도식을 제안함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 경상남도 김해시 관내의 우량관측소 현황을 조사하여 연구대상지역을 김해시 읍·면별로 총 9개 지점을 선정하였다. 또한, 확률강우강도식의 신뢰성 및 적용을 검증하기 위하여 기상청에서 관할하고 있는 김해시 인근의 우량관측소 3개 지점(부산관측소, 창원관측소, 밀양관측소)을 선정하였다.

2) 김해시 관내 우량관측소의 연최대강우량을 산정한 결과 김해시 서·남측 지역(진영읍, 진례면, 주촌면, 동지역)의 강우량이 동·북측 지역(한림면, 생림면, 상동면, 대동면)의 강우량에 비해 대체적으로 큰 값을 가지는 것으로 분석되었다. 한편, 장유면 관측소의 연최대강우량은 2010년에 강우량 수집 서버로의 전송오류가 발생됨에 따라 2010년의 연최대강우량 산정결과는 금회 연구대상에서 제외하기로 한다. 김해시 인근 우량관측소의 연최대강우량을 산정한 결과에서는 부산관측소와 창원관측소의 강우량이 밀양관측소의 강우량보다 대체적으로 큰 값을 가지는 것으로 나타났다.

3) 김해시 관내 및 인근에 위치한 우량관측소의 확률강우량을 산정하기 위하여 임의시간 연최대강우량 산정결과를 토대로 FARD2006 프로그램을 이용하여 빈도해석을 실시하였다. 먼저 우량관측소별로 무작위성의 위배 여부를 검토한 결과 빈도해석에 적합하다고 판단된다. 다음으로 본 연구에서 매개변수를 추정하기 위

한 방법은 표본크기가 작거나 왜곡된 자료에서도 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있는 확률가중모멘트법을 사용하였다. 이 방법에 따라 매개변수의 적합성 검토결과를 참고하여 모든 관측소에 대해 최적 확률분포형을 Gumbel 분포형으로 결정하였다.

4) 김해시 관내 우량관측소의 확률강우량을 산정한 결과 장유면을 제외한 김해시 서·남측 지역(진례면, 진영읍, 주촌면, 동지역)의 확률강우량이 동·북측 지역(대동면, 상동면, 한림면, 생림면)에 비해 대체적으로 큰 값을 가지는 것으로 분석되었고, 김해시 인근 우량관측소의 확률강우량을 산정한 결과에서도 부산관측소, 창원관측소, 밀양관측소의 순으로 크게 산정됨을 알 수 있었다. 이는 관측소별 임의시간 연최대강우량의 산정 결과의 특성을 잘 반영하고 있는 것으로 나타나 Gumbel 분포형의 확률강우량 채택은 적절한 것으로 판단된다.

5) 확률강우강도식의 산정방법은 국내 수공구조물의 설계에서 가장 많이 사용되고 있는 경험식인 Talbot형, Sherman형, Japanese형 중에서 가장 회귀식의 적합도가 높은 경험식을 채택하였다. 김해시 읍·면별 관측소의 상관계수와 편차 산정결과 진영읍 관측소 및 생림면 관측소의 단기간 산정결과를 제외한 모든 관측소에서 Talbot형 확률강우강도식의 적합도가 높게 나타났다.

6) 김해시 읍·면별 확률강우강도식의 개발을 통해 기존의 각종 수공구조물 설계시 Thiessen망에 근거하여 적용된 확률강우강도식의 문제점을 파악하였으나, 14년의 짧은 강우 기록년수로 인해 장기간의 확률강우량 값은 신뢰도가 떨어지는 한계를 확인할 수 있었다. 따라서, 향후 강우자료의 확충에 따른 지속적인 연구와 체계적인 강우 모니터링 시스템이 구축된다면 보다 정도 높은 확률강우강도식을 결정할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구결과는 경상남도 김해시를 대상으로 지역별로 세분화하여 확률강우강도식을 제안한 바 해당 지역의 각종 수공구조물 설계시 편리하게 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 미래창조과학부(과제번호:2013

-065891)와 2013년 국토해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥회의 지원(연안침식대응기술개발, 과제번호: 2013023)을 받아 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Ministry of Land, Infrastructure and Transport. 2011, A study on the improvement and supplement of the rainfall probability. Korea Institute of Construction.
- National Emergency Management Agency. 2010, A study on setting objectives of urban disaster prevention performance for considering climate change. Korea Disaster Prevention Association.
- G. W., Choi, T. J., Ahn, Y. S. Kwon, 2000, Derivation of probable rainfall intensity formulas at Incheon district. Journal of Korea Water Resources Association, Vol.33, No.2, 263-276.
- Y. B., Choi, J. H., Park, 1966. Study on the regional characteristics of rainfall intensity formula type in the major cities in South Korea. Journal of Korean Society of Civil Engineering, Vol.14, No.1, 15-29.
- J. H., Heo, K. D., Kim, J. H., Han, 1999, Derivation of rainfall Intensity-Duration-Frequency equation based on the appropriate probability distribution, Journal of Korea Water Resources Association, Vol.32, No.3, 247-254.
- J. U., Ko, 1980, The regional frequency analysis of the annual max. daily rainfall in Korea, Magazine of Korea Water Resources Association, Vol.13, No.1, 39-42.
- W. H., Lee, 1967, A Study on rainfall characteristics and determination of probability rainfall amount at various district in Korea. Magazine of Korean Society of Civil Engineers, Vol.15, No.3, 28-38.
- W. H., Lee, 1977, A Hydrological Study on Rainfall Frequency Atlas in Korea, Magazine of Korea Water Resources Association, Vol.10, No.1, 39-51.
- W. H., Lee, 1987, A programming of hydrologic analysis procedure for the probable isohyetal chart in Korea, Magazine of Korea Water Resources Association, Vol.20, No.2, 139-150.
- W. H., Lee, K. J., Byun. 1969, Study of the rainfall intensity probability formula required for designing city sewerage and river plans. Magazine of Korean Society of Civil Engineers, Vol.16, No.4, 1-11.

- J. J., Lee, J. S., Lee, 1999, A derivation of rainfall Intensity-Duration-Frequency relationship for the design of urban drainage system in Korea . Magazine of Korea Water Resources Association, Vol.32, No.4, 403-415.
- W. H., Lee, S. D., Park, 1992, A unification of the probable rainfall intensity formula at Seoul. Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.12, No.4, 135-143.
- W. H., Lee, S. D., Park, S. Y., Choi, 1993, A derivation of the typical probable rainfall intensity formula in KOREA. Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol.13, No.1, 115-120.
- Y. N., Yoon, 1971. The application of incomplete Gamma function for the estimation of monthly rainfall probability. Magazine of Korean Society of civil Engineers, Vol. 19, No.2, 5-12.