

돌발홍수 발생시 도시하천의 치수안전도 분석 Safety Analysis of the Flood Control of Urban River in Flash Flood

박 호 상* / 심 우 배** / 송 재 우***
Park, Ho Sang* / Sim. Ou Bae** / Song, Jai Woo***

Abstract

In this study, safety analysis of river in flash flood due to local extraordinary rainfall was conducted for the Hong-Je river, which was selected as a representative sample basin because it is one of the most urbanized rivers in Seoul. The rainfall data of precipitation 310.1 mm and probable maximum precipitation (PMP) 740.0 mm in July 14~15, 2001 was used to perform safety analysis.

Resulting of safety analysis of the flood control in Hong-Je river, case of the 50 year of design frequency, safety section, management section, and danger section were represented to be 85%, 15%, and 0% respectively. For the 200 year of design frequency, safety section decreased by 6% and management section and danger section increment by 4% and 2%, respectively. The variation of management section was not observed with respect to 200 year of frequency. Little variation of safety value for management section for 300 and 500 of frequency increased by 8% and 12% relative to 50 year of frequency, respectively. management section and danger section for 1000 year of frequency increased by 19% and 13% relative to 50 year of frequency.

Key words : Probable Maximum Precipitation, Flash Flood, Urban River, Flood Control

요 지

본 연구에서는 국지성 이상호우에 대한 하천의 치수 안전도를 분석하기 위하여 서울의 도시하천 중 지방2급 하천인 홍제천을 연구 대상하천으로 선정하였고, 최근 발생한 이상호우 중에서 서울에 많은 피해를 입힌 2001년 7월 14일~15일 강우 310.1mm와 서울지역 가능최대강수량(PMP)740.0mm를 적용 강우로 선정하였다.

홍제천의 치수 안전도를 분석한 결과, 계획빈도인 50년인 경우, 안전단면이 85%, 관리단면이 15%, 위험단면은 발생치 않았으나, 100년 빈도에서 안전단면이 6% 감소하고 관리단면이 4% 위험단면은 2% 증가하였다. 빈도가 증가함에 따라 증감율은 작게 나타났고 200년 빈도 이후에는 관리단면은 거의 변화가 없었으며 위험단면이 다소 증가하여 300년 빈도에서는 50년 빈도에 비해 8%, 500년 빈도에서는 12% 증가하였고 1000년 빈도에서는 위험단면이 19%, 관리단면이 13% 크게 증가하였다.

핵심용어 : 가능최대강수량, 돌발홍수, 도시하천, 치수

* (주)우대기술단 수자원부 차장

** 정희원 · 서울시정개발연구원 도시환경연구부 초빙연구위원

*** 정희원 · 홍익대학교 토목공학과 교수

1. 서론

최근 지구온난화 및 엘니뇨, 라니냐 등 최근 지구환경의 변화에 따른 기상이변으로 우리 나라에서도 최근 들어 집중호우의 발생빈도가 증가되는 추세에 있으며 이로 인한 인명과 재산의 피해 규모도 대형화되는 양상을 보이고 있다.

우리나라는 몬순기대에 속하는 대륙성 기후권에 들어있어 특히 하절기인 6~9월 사이에 다량의 집중강우와 태풍 등에 의한 빈번한 수해가 발생하고 있다. 구체적인 원인으로서는 중국대륙 및 동지나해에서 발생하는 하절기 저기압의 극전선(장마전선) 및 남양군도 부근에서 발생되어 이동해 오는 태풍 등에 기인한다. 특히 풍수해를 가중시키는 원인으로 연간 강수량의 2/3가 농작물의 개화, 결실기인 하절기에 집중적으로 내려 큰 풍수해의 원인이 되고 있다.

그 예로 경기도와 강원도 북부지역에 발생한 '96년 7월의 집중호우, '98년 8월에 전국적으로 발생한 게릴라성 집중호우 그리고 경기도 북부 및 임진강 전 유역에 발생한 '99년 8월의 집중호우, '01년 7월 서울을 강타한 집중호우, 전국적으로 발생된 '02년 8월의 집중호우 및 강원도 일대에 기록적인 호우를 불러온 태풍 루사로 엄청난 인명과 재산피해를 발생시켰다.

이러한 국지성 이상호우는 관측 및 예측이 매우 어렵기 때문에 주요 기반 시설과 인구가 집중된 대도시에서 발생할 경우 돌발홍수로 인한 인명과 재산 피해가 크게 나타나므로 도시하천의 치수 안전도를 분석하고 대책을 마련하는 것은 매우 중요하다.

따라서 본 연구의 목적은 최근 발생한 국지성 이상호우를 선정하고 연구 대상하천에 적용하여 돌발홍수에 대한 하천의 치수안전도를 분석하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 국지성 이상호우에 대한 하천의 치수 안전도를 분석하기 위하여 서울의 도시하천 중 지방2급 하천인 홍제천을 연구 대상하천으로 선정하였으며, 최근 발생한 이상호우 중에서 서울에 많은 피해를 입힌 2001년 7월 14일~15일 강우 310.1mm와 서울지역 가능최대강수량(Probable Maximum Precipitation) 740.0mm를 적용 강우로

선정하였다.

선정된 7월의 강우를 기상청과 인근의 구청의 강우량 자료를 이용한 면적강우량으로 세분화하였고, 서울관측소의 일최대 확률강우량과 비교분석하여 강우계측망을 검토하였으며, 각 강우에 대한 홍수량을 산정하여 홍제천의 통수능을 평가하였다.

각 강우에 따라 산정된 홍수량을 이용하여 홍수위를 산정하고 계획홍수위와 비교 검토한 후, 하천의 치수 안전도를 분석하였다. 치수 안전도를 제방 안전단면(A), 제방관리단면(B), 제방위험단면(C)으로 등급을 나누었으며, 여유고를 포함한 현재의 제방단면을 2001년 7월 강우 및 서울지역 가능최대강수량에 대하여 안전도를 검토한 후, 계획빈도에 의해 설계된 하천의 안전도를 분석하였다.

3. 연구대상하천의 개황

국가하천 제 1지류인 홍제천은 유역면적 19.37 km², 유로연장 11.63km인 지방2급 하천으로 북한산에서 발원한 후 남서류하다 북한산에서 발원해서 남하한 불광천과 합류되어 한강하류 우안측으로 유입되며, 홍제천하류 우안에 위치한 난지도, 성산대교에서 북동쪽으로 유로를 따라 장방형의 유역을 이루는 하천으로 서쪽으로 경기도 고양시와 접하고 있으며, 북쪽으로 북한산 줄기를 분수령으로 하여 은평구 구파발동, 그리고, 진관외동과 접하고 있다. 또한, 남동쪽으로는 북한산 및 무악재를 분수령으로 하고 있다.

홍제천의 하천현황은 도심지를 통과하여 유하하는 도시하천인 관계로 하천양안은 옹벽 및 콘크리트 호안으로 양호하게 도로 겸 제방으로 정비되어 있고, 하천횡단교량, 하수관로 및 우수관로, 반복개교등 비교적 많은 구조물이 설치되어 있다. 특히 홍제천 하상에 설치된 내부순환고속도로의 교량교각은 홍제천의 경관을 크게 훼손하고 있으며, 중류부 유진상가 지점과 상류부 올림픽아호텔 지점은 완전 복개되어 있는 실정이다.

홍제천 유역의 행정구역은 서울특별시 종로구 마포구 은평구 전부 또는 일부를 포함한 행정구역으로 이루어져 있으며, 인구현황은 가구수 약 81,984호에 인구수 약 235,051인이 거주하며 인구밀도 12,339명/km²로 서울시 전인구밀도 18,121명/km²보다 다소 낮은 것으로 나타났고, 유역 년평균 강우량은 1,357.2mm/년으로 우리나라 년평균 강우

유역도

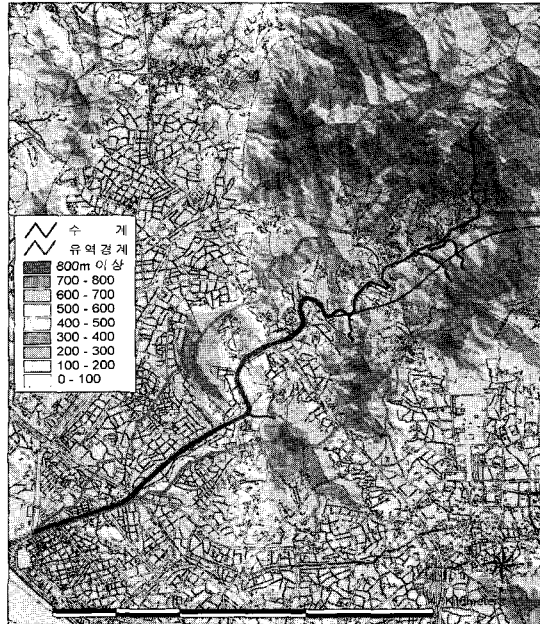


그림 1. 홍제천 유역도

표 1. 서울지점 확률강우량(1962년~1999년)

단위 : mm

| 재현기간 | 30년 | 50년 | 80년 | 100년 | 200년 | 300년 | 500년 | 1000년 | 비고 |
|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------|----|
| 강우량 | 263 | 284 | 313 | 339 | 352 | 405 | 446 | 488 | |

량 1,274.0mm/년 보다 크게 나타나고 있으며, 하상 경사는 1/60~1/326 이며, 하상은 모래질로 형성되어 있으며, 하폭이 일정하고 비교적 직선형을 형성하고 있는 하천이며, 그 유역은 그림 1과 같다.

4. 평가 결과 및 분석

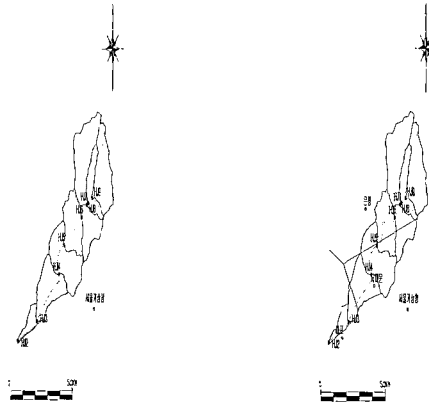
4.1 강우분석

금희 홍제천은 침투홍수 도달시간이 5시간 미만으로 홍수량 산정을 위한 확률강우량은 1일 최대 강우계열을 대상으로 하였으며, 연최대치 강우기록에 의한 확률강우량 분석은 서울관측소의 38개년 일최대 강우량자료를 이용하였다. 빈도해석은 행정자치부 국립방재연구소에서 개발한 FARD98을 이용하였고, 적용한 확률분포형은 gamma 분포형, GEV(General Extreme Value)분포형, Gumbel 분포형, log-Gumbel 분포형, lognormal 분포형,

log-Pearson type III 분포형, Weibull 분포형, Wakeby 분포형 등의 분포형을 적용하였으며, 매개변수 추정에는 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법을 이용하였고, 적합도 검정은 χ^2 - 검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer Von Mises 검정, Probability plot correlation coefficient 검정 등의 방법을 이용하여 검토하였다. 재현 기간별 24시간 확률강우량을 산정 결과는 다음 표 1과 같다.

또한, 그림 2에서와 같이 CASE별 티센망을 구축하여 각 관측소별 티센계수를 산정하고 면적강우량을 구하였다. 면적강우량 산정 결과는 표 2와 같다.

표 2에서와 같이, CASE 1은 서울(기)우량관측소, CASE 2는 은평구청 관측소의 영향이 각각 지배적으로 나타났으며, 일최대 강우량 표 1와 비교



(a) CASE 1

(b) CASE 2

그림 2. CASE별 관측점의 위치와 티센망의 구성

하면 CASE 1의 310.1mm는 80년빈도, CASE 2의 290.4mm는 60년빈도 그리고 CASE 3는 1000년빈도 이상의 강우량으로 분석되었다. 또한 본 연구 대상하천의 위치가 서울관측소의 위치와 가까이 있어서 CASE 1, 2의 강우가 큰 차이가 없었으나 탄천, 도림천 유역 등에서는 기상청자료만을 쓴 경우와 인근 구청 자료를 함께 사용한 경우와 큰 차이가 나타났으며, 최근의 호우패턴이 국지성을 나타내므로 기상청 강우관측소와 떨어진 유역의 경우 인근 구청의 강우자료를 적극활용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

4.2 치수 안전도 분석

제방의 안전도를 평가하기 위한 척도는 제방의 높이, 폭, 경사, 형식, 축조재료 및 방법 등으로서 종합적인 평가가 가능하겠으나 본 논문에서는 하천제방의 높이와 하폭을 기준척도로 하여 평가하였다. 연구 대상하천인 홍제천에 대해 제방고를 조사하여 전구간에 대하여 여유고 및 계획홍수위를 비교 분석하였고, 치수 안전도 평가 기준은 제방고와 계획홍수위 및 여유고를 중심으로 표 3과 같이 구분하였다.

또한, 표 4는 홍제천의 계획홍수위, 하폭 및 시설제방고의 일부를 나타낸다.

표 5 는 빈도별 안전도 분석결과 일부이며, 각

표 2. CASE별 티센비 및 면적강우량(24hr)

| 하천명 | CASE | 관측소 | 티센계수 | 강우량 (mm) | 하구부 기준 면적강우량 (mm) | 관리기관 | 빈도 |
|-----|-------|-------|-------|----------|-------------------|-------|-------|
| 홍 | CASE1 | 서울(기) | 1.000 | 310.1 | 310.1 | 기상청 | 80년 |
| | | 소계 | 1.000 | - | | - | |
| 제 | CASE2 | 서울(기) | 0.000 | 310.1 | 290.4 | 기상청 | 60년 |
| | | 마포구청 | 0.070 | 292.0 | | 서울특별시 | |
| | | 서대문구청 | 0.360 | 294.0 | | " | |
| | | 은평구청 | 0.570 | 288.0 | | " | |
| | | 소계 | 1.000 | - | | - | |
| 천 | CASE3 | 서울(기) | 1.000 | 740.0 | 740.0 | 기상청 | 1000년 |
| | | 소계 | 1.000 | - | | - | 이상 |

표 3. 제방 안전도 평가 기준

| 구 분 | 표시 | 기 준 | 진단 및 대책 |
|--------|----|----------------------------|------------------------------------|
| 제방안전단면 | A | 제방고 > 계획홍수위+여유고 | 제방 안전 |
| 제방관리단면 | B | 계획홍수위 < 제방고 < 계획홍수위+여유고 | 제방은 월류하지 않으나 취약 원인을 파악하 고 관리 필요 |
| 제방위험단면 | C | 제방고 < 계획홍수위 | 제방이 월류되므로 즉각적인 치수대책 수립 |

표 4. 홍제천의 계획홍수위, 하폭 및 시설 제방고

| 측 점 (No.) | 거 리 | | 계획홍수량 (m ³ /sec) | 계획홍수위 (EL.m) | 하 폭 (m) | | 시설제방고(EL.m) | | 비 고 |
|--------------|-----|------|--------------------------------|-----------------|---------|-----|-------------|-------|---------|
| | 구 간 | 누 가 | | | 현 재 | 계 획 | 좌 안 | 우 안 | |
| 32 | 50 | 1600 | 290 | 13.98 | 35 | - | 15.09 | 18.49 | |
| 33 | 50 | 1650 | " | 15.11 | 37 | - | 15.62 | 19.29 | |
| 34 | 50 | 1700 | " | 15.26 | 47 | - | 15.72 | 18.92 | |
| 35 | 50 | 1750 | " | 15.40 | 48 | - | 15.95 | 17.95 | |
| 36 | 50 | 1800 | " | 15.55 | 52 | - | 16.22 | 17.17 | |
| 37 | 50 | 1850 | " | 15.70 | 53 | - | 16.41 | 16.54 | 성산2교 |
| 38 | 50 | 1900 | " | 15.76 | 47 | - | 16.50 | 17.13 | |
| 39 | 50 | 1950 | " | 15.83 | 47 | - | 16.57 | 17.19 | |
| 40 | 50 | 2000 | " | 15.89 | 50 | - | 16.82 | 17.79 | |
| 41 | 50 | 2050 | " | 15.95 | 49 | - | 16.67 | 17.69 | |
| 42 | 50 | 2100 | " | 16.01 | 49 | - | 16.69 | 17.82 | |
| 43 | 50 | 2150 | " | 16.08 | 49 | - | 16.80 | 17.95 | |
| 44 | 50 | 2200 | " | 16.14 | 62 | - | 16.86 | 17.96 | |
| 45 | 50 | 2250 | " | 16.20 | 66 | - | 16.74 | 17.87 | |
| 46 | 50 | 2300 | " | 16.26 | 62 | - | 16.84 | 18.22 | |
| +40 | 40 | 234 | " | 16.31 | 63 | - | 17.89 | 18.51 | 연남교(신설) |

표 5. 빈도별 안전도 검토

| 측점 | 좌 안 | | | | | | 우 안 | | | | | | 비 고 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 1000 | |
| 32 | A | B | B | B | B | C | A | A | A | A | A | A | |
| 33 | B | B | C | C | C | C | A | A | A | A | A | A | |
| 34 | B | B | C | C | C | C | A | A | A | A | A | A | |
| 35 | B | B | C | C | C | C | A | A | A | A | A | A | |
| 36 | B | B | B | C | C | C | A | A | A | A | B | B | |
| 37 | B | B | B | C | C | C | A | B | B | B | C | C | 성산2교 |
| 38 | B | B | B | C | C | C | A | A | B | B | B | B | |
| 39 | B | B | B | C | C | C | A | A | B | B | B | B | |
| 40 | A | B | B | B | C | C | A | A | A | A | A | B | |
| 41 | B | B | B | C | C | C | A | A | A | A | B | B | |
| 42 | B | B | B | C | C | C | A | A | A | A | A | B | |
| 43 | B | B | B | C | C | C | A | A | A | A | A | B | |
| 44 | B | B | B | C | C | C | A | A | A | A | A | B | |
| 45 | B | B | C | C | C | C | A | A | A | A | B | B | |
| 46 | B | B | B | C | C | C | A | A | A | A | A | B | |
| +40 | A | A | A | A | B | B | A | A | A | A | A | A | 연남교 |

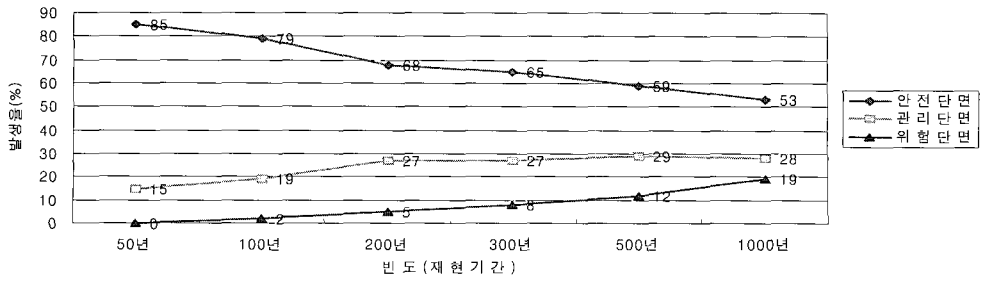


그림 3. 빈도별 치수 안전도 변화

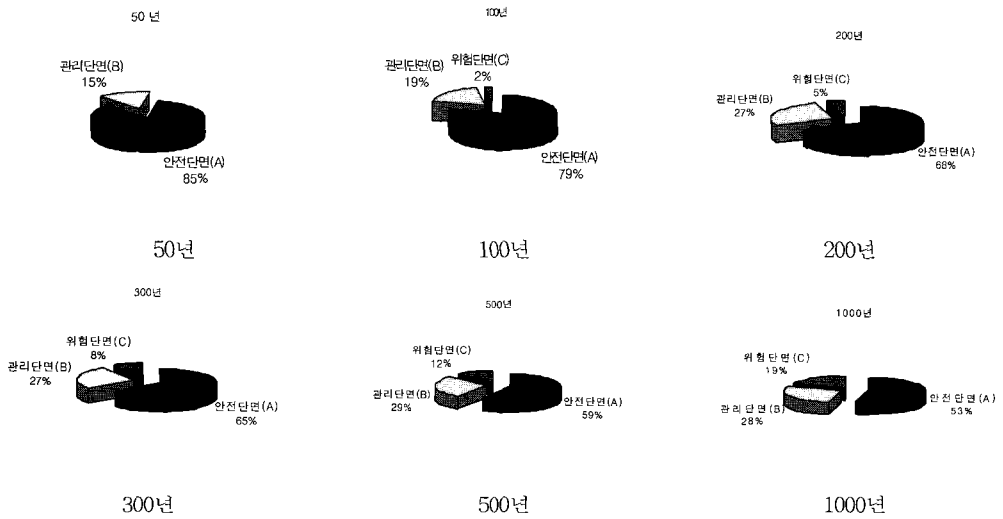


그림 4. 각 빈도별 안전도 분석 결과

표 6. 지점별 CASE별 치수 안전도 검토 결과

| 측점 | 좌 안 | | | 우 안 | | | 비 고 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 | |
| 32 | A | A | C | A | A | A | |
| 33 | B | B | C | A | A | A | |
| 34 | B | B | C | A | A | A | |
| 35 | B | B | C | A | A | B | |
| 36 | B | A | C | A | A | C | |
| 37 | B | A | C | B | A | C | 청산2교 |
| 38 | B | A | C | A | A | C | |
| 39 | B | A | C | A | A | C | |
| 40 | B | A | C | A | A | C | |
| 41 | B | A | C | A | A | C | |
| 42 | B | A | C | A | A | C | |
| 43 | B | A | C | A | A | C | |
| 44 | B | A | C | A | A | C | |
| 45 | B | B | C | A | A | C | |
| 46 | B | B | C | A | A | C | |
| +40 | A | A | A | A | A | A | 연남교 |

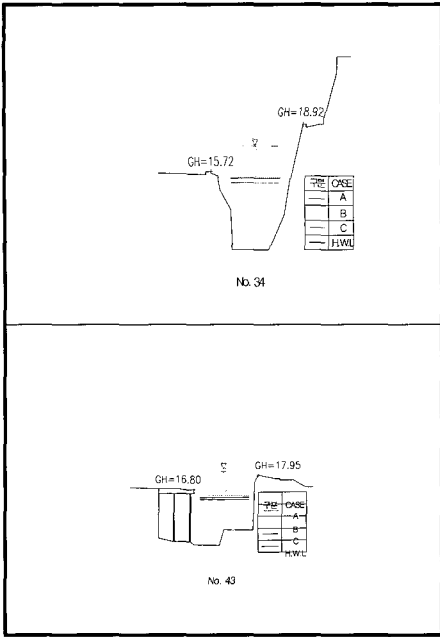


그림 5. 안전도분석결과 횡단면도

측점별로 단면분포를 분석하여 도시하면 그림 3과 그림 4와 같다. 그림에서 보는바와 같이, 계획빈도인 50년인 경우, 안전단면이 85%, 관리단면이 15%, 위험단면은 발생치 않았으나, 100년 빈도에서 안전단면이 6% 감소하고 관리단면이 4% 위험단면은 2%로 증가하였다. 빈도가 증가함에 따라 증감율은 작게 나타났고 200년 빈도 이후에는 관리단면은 거의 변화가 없었으며 위험단면이 다소 증가하여 300년 빈도에서는 50년 빈도에 비해 8%, 500년 빈도에서는 12% 증가하였고 1000년 빈도에서는 위험단면이 19%, 관리단면이 13% 크게 증가하였다. 결과적으로 빈도 증가에 따라 위험단면의 증가폭이 작게 나타났으나 이상호우에 의한 돌발홍수 발생을 대비하여 위험단면에 대한 치수대책을 시급히 수립하는 것이 바람직하다고 판단된다.

각 CASE별 치수안전도 분석결과 일부는 표 6과 같으며, 그림 5는 안전도 분석결과 횡단면의 대표 단면을 도시하였다. 그림 6, 그림 7은 각 지점 CASE별로 제방의 치수 안전도 분석을 수행한 결과를 나타내었으며, 하천의 계획빈도인 50년의 치

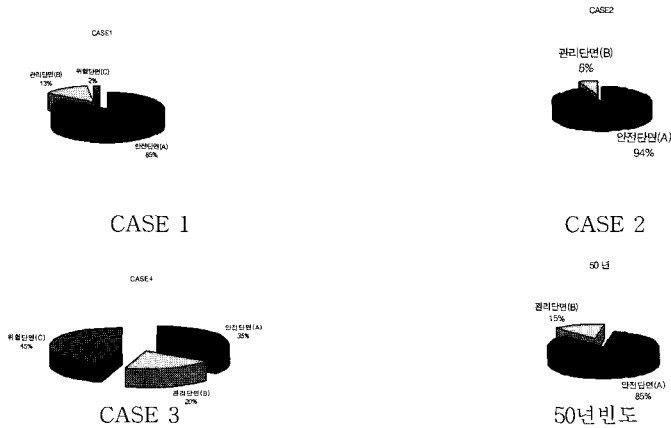


그림 6. CASE 별 치수 안전도 분석

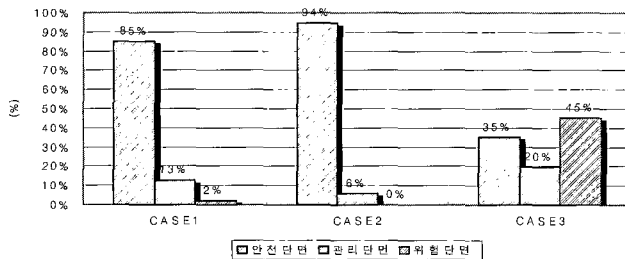


그림 7. CASE별 치수안전도 변화

수 안전도 분석 결과와 비교 분석하였다

그 결과 CASE 1은 50년 빈도 보다 위험단면이 2% 증가하는 반면 관리단면과 안전단면은 각각 1%씩 감소하였다. CASE 2는 50년 빈도 보다 안전한 결과를, CASE 3는 위험단면이 43%, 관리단면 5%로 50년 빈도 보다 크게 나타났으며, 이것은 CASE3의 경우 1000년 빈도 이상 홍수량에 해당되므로 50년 빈도 보다 위험 및 관리단면이 크게 증가한 결과이다.

최근의 호우는 기후변화 등으로 인하여 2002년 태풍 RUSA와 같이 P.M.P에 도달하는 강우가 발생할 수 있으므로 홍제천의 현재 하천계획빈도(50년)의 상향조정을 검토해야 할 것이며, 홍제천의 여유고는 계획홍수량에 따라 0.6~1.0m이므로 여유고를 확보하는 것만으로도 계획빈도 상향조정의 효과를 거둘 수 있으므로 교량 접속부, 반복개구간 등의 여유고 확보가 어려운 취약지구에 대한 대책을 시급히 수립해야 한다.

5. 결 론

본 연구에서는 연구 대상하천을 홍제천으로 선정하여 서울의 큰 인명과 재산피해를 유발시킨 '01년 7월과 서울지역 가능최대강수량(Probable Maximum Precipitation)을 적용하여 하천의 치수 안전도를 분석하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 주요지점 홍수량 비교분석한 결과, 하구지점인 불광천 합류전(HJ2)의 홍수량은 CASE 1의 경우 80년 빈도, CASE 2는 40년 빈도, CASE 3은 1000년 빈도 이상의 홍수량으로 분석되었다. 또한, CASE별 홍수량은 증감이 있었으며 그 편차는 하구지점으로 갈수록 크게 나타났고 하구지점의 홍수량은 CASE 2는 계획홍수량에 비해 0.9배 다소 감소하였고 CASE 1은 계획홍수량에 비해 약 1.1배, CASE 3은 약 2.3배로 크게 증가하였다.
2. 빈도별 치수안전도 분석 결과, 계획빈도인 50년인 경우, 안전단면이 85%, 관리단면이 15%, 위험단면은 발생치 않았으나, 100년 빈도에서 안전단면이 6% 감소하고 관리단면이 4% 위

험단면은 2% 증가하였다. 빈도가 증가함에 따라 증감율은 작게 나타났고 200년 빈도 이후에는 관리단면은 거의 변화가 없었으며 위험단면이 다소 증가하여 300년 빈도에서는 50년 빈도에 비해 8%, 500년 빈도에서는 12% 증가하였고 1000년 빈도에서는 위험단면이 19%, 관리단면이 13% 크게 증가하였다.

3. 각 CASE별 치수안전도 분석 결과, CASE 1은 50년 빈도 보다 위험단면이 2% 증가하는 반면 관리단면과 안전단면은 각각 1%씩 감소하였다. CASE 2는 50년 빈도보다 안전한 결과를, CASE 3은 위험단면이 43%, 관리단면 5%로 50년 빈도 보다 크게 나타났다. 따라서, 최근의 기후변화와 강우패턴을 볼 때, 극한강우에 따른 돌발홍수에 대비한 치수대책을 시급히 수립해야 할 것이다.

6. 참고문헌

- 1) 서울특별시(2000), **대학과 연계한 하천관리 연구용역 (1차) 보고서**
- 2) 서울특별시(2001), **대학과 연계한 하천관리 연구용역 (2차) 보고서**
- 3) 서울특별시(2002), **대학과 연계한 하천관리 연구용역 (3차) 보고서**
- 4) 관악구청(2001), **2001 관악구 수해원인조사 및 복구대책 연구보고서**
- 5) 서울특별시(2002), **'01 수해백서 보고서**
- 6) 행정자치부(2003), **'02 재해백서 보고서**
- 7) **하천정비 기본계획(탄천, 홍제천, 불광천) 보고서** 2001.12 서울특별시
- 8) National Research Council.(2000), *Risk Analysis and Uncertainty in Flood Damage Reduction Studies*, pp. 1-202.
- 9) Kosko, B.(1992), *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Prentice Hall, pp. 1~11, pp. 299~338.
- 10) Arnell, N.(1996), *Global Warming, River Folus and Water Resources*, Institute of Hydrology. Wallingford. England.