

가능최대홍수량을 적용한 미호저수지의 수문학적 안정성 분석*

추태호, 맹승진**), 김상우, 김형산, 정지혜

본 연구에서는 농업용저수지치수관리시스템을 사용하여 미호저수지의 가능최대강수량에 의한 계획수문량을 재산정하고 수위변화에 따른 여수로 방류량을 계산하여 대상 저수지의 홍수위를 추적함으로써 저수지의 수문학적 안정성을 검토하였다. 본 연구에서는 미호저수지의 수문학적 안정성을 검토한 결과 수문학적 안정성을 확보하지 못하는 것으로 분석되어 안정성 확보를 위하여 여수로 확장 등 구조적 대책이나 비구조적 대책이 필요한 것으로 분석되었다. 또한 하류하천에 대해서도 일부 여유고 부족구간에 대한 별도의 제방보강 등 지속적인 하천정기본 계획의 시행이 필요할 것으로 분석되었다. 변경된 저수지 설계기준에 따른 대상 저수지의 가능최대홍수량 산정 결과 과거의 저수지 설계기준이었던 200년 빈도 확률홍수량에 비해 약 290% 정도의 높은 첨두홍수량을 나타내 가능최대홍수량을 계획홍수량으로 적용할 경우의 적정성 확보 등이 문제가 될 것으로 판단된다.

주제어: 미호저수지, 농업용저수지치수관리시스템, 가능최대강수량, 수문학적 안정성, 가능최대홍수량

1. 서론

우리나라 농업용 저수지의 대부분은 도시나 인구밀집 지역이 아닌 산간지역 등에 분포되어 관개용수 공급을 목적으로 하는 이수목적 댐으로 치수목적보다는 이수목적에 중점을 두어 개발되었기 때문에 홍수조절과 저수지 운영에 대한 개념이 반영되지 않은 것이 현실이다.

최근 전국적으로 산업화·도시화가 진행되면서 농업용 저수지 인근에 도시구역이 증가하여 대규모 수해를 발생시킬 수 있는 잠재적인 위험성이 높아짐에 따라 농업용 저수지에도 홍수조절과 저수지 운영 개념의 필요성이 제기되고 있다.

농업용 저수지를 계획함에 있어 여수로 규모를 과거 1969년 이전까지는 100년 빈도 확률홍수량으로 설계하였다. 이후 '농지개량사업 계획설계 기준'에서는 200년 빈도 확률홍수량, 기왕최대 홍수량, 지역 최대 홍수량 중 큰 값을 설계 홍수량으로 하였으며 횡댐 형식의 저수지에서는 홍수량에 20% 증가시킨 유량을 여수로의 설계기준으로하고 있었다.

* 본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(12기술혁신C01)에 의해 수행되었습니다.

** 교신저자

그러나 2002년 제15호 태풍 「루사」 및 2003년 태풍 「매미」 등으로 인한 최근의 이상강우에 의한 장현, 동막저수지의 붕괴 및 오봉저수지 붕괴 위험으로 인해 11만 2천명이 대피하는 등 농업용 저수지의 수해로 막대한 피해가 빈번히 발생하고 있는 실정이다. 이에 따라 2003년 ‘재해대비 수리시설 설계기준개정(농림부, 2003)’에서는 농업용 저수지에서도 이상홍수로 인한 저수지 파괴에 대한 홍수피해 정도를 고려하기 위하여 하류지역 피해 예상정도와 일정규모(유역면적 25만km², 총저수량 500만m³) 이상의 저수지에 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood, PMF)을 적용하도록 변경하였다.

2003년 변경된 농업용 저수지의 설계기준인 가능최대홍수량을 적용 할 경우 기존에 설치되어 운영 중에 있는 많은 저수지가 설계기준에 미달되므로 최근의 이상홍수에 대한 변화요인 및 홍수저감 방안을 종합적으로 검토, 대처 할 필요성이 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존 농업용저수지의 계획 당시 적용한 계획수문량 대신에 최근의 강우현상이 반영된 수문자료를 사용하여, 충북에 위치한 미호저수지를 대상으로 빈도별 확률홍수량 및 가능최대홍수량 분석과 선정된 홍수사상에 대한 홍수추적을 수행하였다. 이를 바탕으로 기존 농업용 저수지의 여수로 방류능에 관한 수문학적 안정성을 재검토하여, 추후 농업용 저수지를 설계할 때 반영할 수 있는 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 대상저수지 및 모형의 선정

1. 대상저수지

본 연구의 대상 저수지는 충청북도에 위치한 농업용저수지 중 가능최대홍수량 설계 대상 규모의 저수지인 미호저수지를 대상으로 하였다. 미호저수지의 수문학적 안정성을 분석하기 위한 미호저수지의 기초적인 제원은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Specification of Miho reservoir

| Item | Miho Reservoir |
|---|----------------|
| Catchment area (104m ²) | 13,300 |
| Gross reservoir capacity (104m ³) | 1,385 |
| F.W.L1) (EL.m) | 63.3 |
| H.W.L2) (EL.m) | 61.0 |
| D.W.L3) (EL.m) | 48.0 |

1) F.W.L : Flood Water Level, 2) H.W.L : High Water Level, 3) D.W.L : Depth Water Level

2. 모형의 선정

분석을 위한 모형은 한국농어촌공사에서 사용빈도가 높고 우리나라 실무에 많은 적용사례가 있는 농업용 저수지 치수관리시스템(Flood Control System for Reservoir, FCSR) 모형을 사용하였다(김상우 등, 2010; 김상우 2010). FCSR은 저수지정보 관리모형, 기상모형, 유역모형, 저수지 저류모형, 하류하천 홍수위 분석모형의 5개로 구성되어 있다. 23개의 입출력 관련 Form파일과 목적별 10개의 수문·수리계산 모듈로 구성되어 있다(김상우 외, 2010; 김상우 2010).

<Table 2>는 FCSR 모형의 모듈에 대해 나타낸 것이다.

<Table 2> Flood Control System for Reservoir module

| Item | Module | Remark |
|---------------------|--------------------------|--|
| Public module | PublicSub.bas | Definition of all sub-routine in system |
| | PublicVariable.bas | Definition of all parameter in system |
| | API_Module.bas | API module |
| | DisplayForm.bas | Print of results |
| Regression analysis | ComplexEquation.bas | Calculation of matrix |
| | PolynomialRegression.bas | Multi-regression analysis |
| Basin model | ResFldVariable.bas | All parameter of basin model |
| | ResFldNetwork.bas | Network of basin model |
| | ResFldBasin.bas | Estimation of floods for sub-basin |
| Storage model | ResOperation.bas | Calculation for hydrology/hydraulic of reservoir |

III. 결과

1. 확률강우량 산정

본 연구에서는 우리나라의 하천기본계획 수립시 널리 사용되었던 강우빈도 해석절차에 따라서 빈도 분석을 실시하였다(NERC, 1975). 그리고 적합도 검정방법에 의하여 최적분포형을 선정한 결과 「한국 확률강우량도의 작성(건설교통부, 2000)」에서 전국적으로 가장 적합한 분포형으로 알려진 Gumbel 분포형을 미호저수지 유역의 적정확률분포형으로 채택하였다. 산정된 재현기간별 확률강우량은 <Table

3>과 같다.

<Table 3> One-day frequency-based precipitation in return period

| Observatory | Duration | Precipitation in return period(mm) | | | |
|-------------|----------|------------------------------------|-------|-------|-------|
| | | 50yr | 80yr | 100yr | 200yr |
| Cheongju | 1 day | 261.2 | 281.7 | 291.4 | 321.5 |

2. 가능최대강수량(PMP) 산정

대규모 수공구조물의 파괴는 막대한 경제손실은 물론 대규모 인명피해 등 극심한 사회, 경제적 피해를 유발시킬 수 있다. 그러므로 많은 나라에서 사실상 초과위험이 없는 가능최대홍수량(Probable Maximum Flood, PMF)을 적용하여 구조물을 설계하고 있다(건설교통부, 2005; Hershfield, 1961).

가능최대홍수량을 추정하기 위해서는 먼저 가능최대강수량(Probable Maximum Precipitation, PMP)을 추정하여야 한다(Institute of Hydrology, 1999). 가능최대강수량의 추정은 수공구조물의 치수적 안정성 측면을 고려하여 최근 발생한 태풍 「루사」 등을 반영시켜 재작성한 「한국가능최대강수량도(건설교통부, 2004)」를 이용하여 본 저수지 지점의 가능최대강수량을 추정하였다. <Table 4>는 미호저수지의 강우지속시간별 PMP를 나타낸 것이다.

<Table 4> PMP by duration of precipitation

| Reservoir | Duration (hrs) | | | | | | | | | |
|-----------|----------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 24 |
| Miho | 132 | 189 | 243 | 29 | 397 | 511 | 597 | 680 | 737 | 820 |

3. 강우의 시간적 분포 산정

강우의 시간분포는 설계 홍수량의 수문곡선 모양과 첨두홍수량에 많은 영향을 미치므로 신중하게 적용해야 한다. 그러므로 본 연구에서 홍수량 산정을 위한 강우의 시간별 분포는 실측강우량을 토대로 「지역적 설계강우의 시간별 분포(건설교통부, 2000)」에서 분석한 Huff 4분위법을 적용하였다. 기록기간 동안의 호우사상에 대한 강우지속시간 및 총강우량에 무차원 누가곡선으로부터 다항회귀분석을 통하여 6차식의 무차원누가곡선식을 유도하여 산정하였다. 유도된 무차원누가곡선식은 <Table 5>와 같다.

$$Y = ax^6 + bx^5 + cx^4 + dx^3 + ex^2 + fx + g \tag{1}$$

여기서 Y : 무차원 강우량(%)
 x : 무차원 강우지속기간(%)
 a, b, \dots, g : 회귀계수

<Table 5> Regression coefficient of dimensionless cumulative curve

| Item | Cheongju |
|------|------------------------------------|
| a | $-3.50571895043833 \times 10^{-9}$ |
| b | $1.10892722354907 \times 10^{-6}$ |
| c | $-1.27657773866465 \times 10^{-4}$ |
| d | $6.15595390304863 \times 10^{-3}$ |
| e | $-9.71216868047042 \times 10^{-2}$ |
| f | 0.974825211 |
| g | -0.021740146 |

기왕의 강우자료에 대한 통계해석을 통해 4개의 침두위치에 따라 강우의 시간적 분포에 대한 발생 빈도를 해석한 결과는 <Table 6>과 같다. <Table 6>에서와 같이 청주관측소에서 기록된 중호우의 발생빈도가 가장 큰 2구간 호우의 적용성이 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서 청주관측소의 2분위의 강우분포를 적용하였다.

<Table 6> Number of heavy rain by duration and section

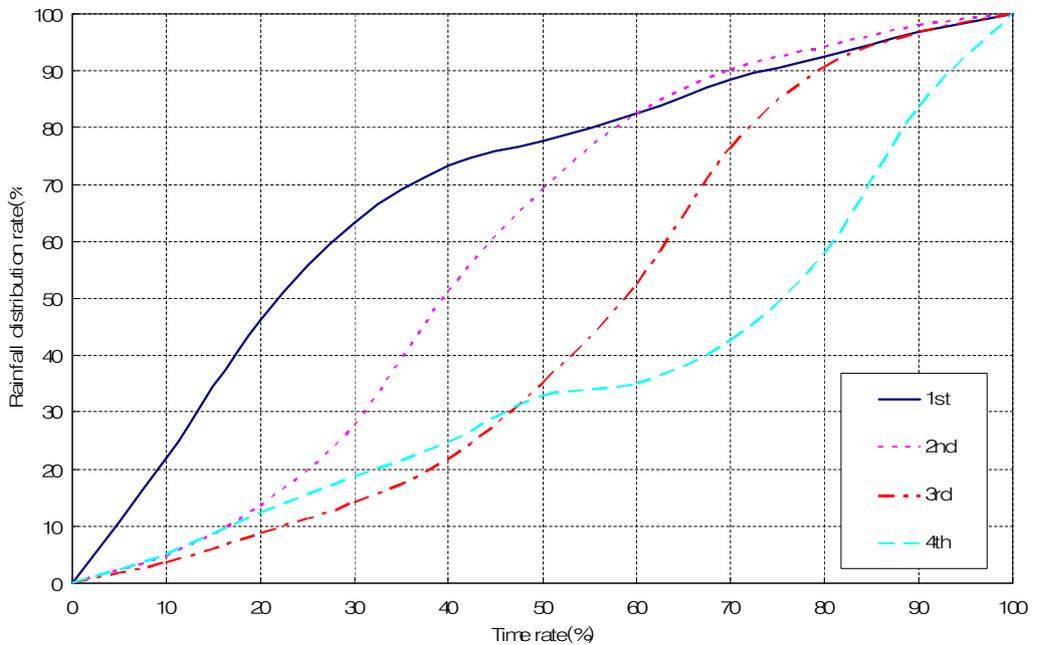
| Duration | 1st | 2nd | 3rd | 4th | Sum |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0hr ~ 6hr | 88 | 76 | 72 | 56 | 292 |
| 7hr ~ 12hr | 70 | 64 | 65 | 65 | 264 |
| 13hr ~ 18hr | 39 | 44 | 44 | 27 | 154 |
| 19hr ~ 24hr | 24 | 30 | 24 | 14 | 92 |
| 25hr ~ | 23 | 32 | 31 | 17 | 103 |
| Total | 244 | 246 | 236 | 179 | 905 |
| X > Mean | 53 | 111 | 97 | 46 | 307 |
| X ≤ Mean | 191 | 135 | 139 | 133 | 598 |

X : Frequency

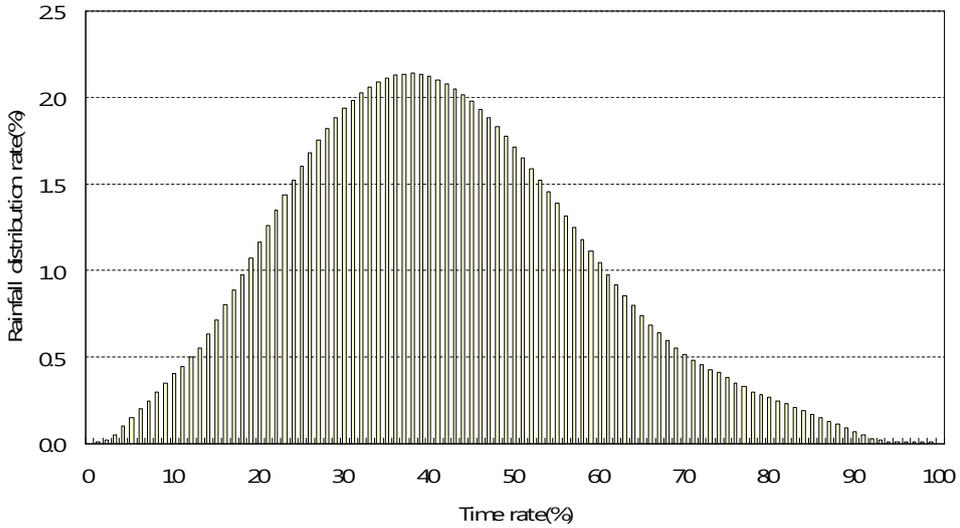
누가우량 백분율에 대한 다항식은 회귀분석을 실시하여 편차가 가장 적게 발생되는 차수의 식을 채택하였으며, 미호저수지유역의 강우관측 기록에 대한 분위별 누가우량곡선의 종거 및 누가우량곡선은 <Table 7>과 같고, <Fig. 1> 및 <Fig. 2>는 청주관측소의 무차원 누가곡선과 시간별 강우분포율을 나타낸 것이다.

<Table 7> Ordinate of rainfall mass curve according to 50% by section of Huff distribution

| Quartile \ Cumulative percentage (%) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|--------------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1st Quartile | 0.0 | 22.0 | 46.2 | 63.3 | 73.4 | 77.7 | 82.4 | 88.4 | 92.5 | 96.8 | 100.0 |
| 2st Quartile | 0.0 | 4.8 | 13.5 | 27.7 | 51.1 | 69.1 | 82.4 | 90.3 | 94.2 | 98.0 | 100.0 |
| 3st Quartile | 0.0 | 3.6 | 8.8 | 14.2 | 21.8 | 35.0 | 52.3 | 76.2 | 90.6 | 96.9 | 100.0 |
| 4st Quartile | 0.0 | 5.0 | 12.3 | 18.8 | 24.7 | 32.8 | 35.0 | 42.6 | 57.8 | 83.7 | 100.0 |



<Fig. 1> Dimensionless cumulative curve



<Fig. 2> Hourly distribution ratio of rain

4. 홍수량 산정

홍수량은 지속시간별 홍수량을 산정하여 그 중 첨두홍수량이 가장 크게 나타나는 지속시간을 미호저수지유역의 임계지속시간으로 선택하여 설계홍수량으로 결정하였다. <Table 8>은 홍수량 산정 방법에 따른 미호저수지의 홍수량 산정결과이다.

<Table 8> Comparison of flood results

(Unit: m³/s)

| Reservoir | Method | Distribution | PMF by duration | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|--------------|-------|
| | | | 1hr | 2hr | 3hr | 4hr | 6hr | 9hr | 12hr | 15hr | 18hr | 24hr |
| Miho | SCS | H-2 ¹⁾ | 574 | 1,033 | 1,298 | 1,591 | 2,061 | 2,489 | 2,658 | 2,737³⁾ | 2,671 | 2,445 |
| | | YC ²⁾ | 575 | 1,033 | 1,293 | 1,576 | 2,011 | 2,366 | 2,497 | 2,548 | 2,462 | 2,218 |
| | Clark | H-2 ¹⁾ | 445 | 796 | 1,004 | 1,246 | 1,652 | 2,029 | 2,188 | 2,286 | 2,267 | 2,135 |
| | | YC ²⁾ | 445 | 794 | 1,003 | 1,241 | 1,634 | 1,981 | 2,110 | 2,184 | 2,150 | 1,998 |
| | Naka-yasu | H-2 ¹⁾ | 481 | 745 | 918 | 1,130 | 1,462 | 1,753 | 1,923 | 2,064 | 2,087 | 2,011 |
| | | YC ²⁾ | 484 | 745 | 917 | 1,127 | 1,443 | 1,689 | 1,804 | 1,964 | 1,984 | 1,885 |

1) H-2 : Huff distribution(2st Quartile), 2) YC : Yen & Chow

3) Bold character : Design floods

5. 수문학적 안정성 분석

미호저수지의 홍수위 산정결과 200년 빈도 홍수유입시 최고수위는 EL.63.12m로 저수지 건설 당시 설정된 현재의 계획홍수위보다 0.18m 낮아 200년 빈도의 홍수유입시에도 현재의 홍수위를 유지할 수 있는 것으로 분석되었다. 그러나 개정된 설계기준에 따른 가능최대홍수량이 유입될 경우를 가정하면 홍수위의 상승으로 댐 관리교량 상단의 표고를 초과하는 것으로 분석되었다. 가능최대홍수량에 의한 홍수위를 고려한 필요 제정고는 콘크리트댐에서 최소 여유고 1.0m를 고려할 경우 EL.66.2m로 현시설 상태에서 여유고가 부족한 것으로 나타나고 있다. 미호저수지의 여유고산정 결과는 <Table 9>와 같고 미호저수지의 수문학적 안정성 검토 결과는 <Table 10>과 같다.

<Table 9> Calculation of freeboard using PMF at Miho reservoir

| Item | Stage (E.l.m) | R ¹⁾ | h _e ²⁾ | h _e /2 | h _a ³⁾ | h _i ⁴⁾ | Freeboard (m) | Review crest (E.l.m) |
|--------------------|---------------|-----------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Design flood level | 63.30 | 0.55 | 0.36 | 0.18 | - | - | 0.73 (1.00) ⁵⁾ | 64.3 |
| Peak level | 65.17 | 0.55 | - | - | - | - | 0.55 (1.00) ⁵⁾ | 66.17 ≒66.2 |

- 1) R : Wave height from reservoir surface by wind
- 2) h_e : Wave height from reservoir surface by earthquake
- 3) h_a : freeboard of in case of have keeping a gate
- 4) h_i : Freeboard that consider dam type and importance
- 5) Minumum freeboard at concrete dam

<Table 10> Result of analysis on hydrologic stability at Miho reservoir

| Item | Peak-stage (E.l.m) | Freeboard (m) | (1) Current crest (E.l.m) | (2) Review crest (E.l.m) | (1) - (2) | Stability test |
|------|--------------------|---------------|---------------------------|--------------------------|-----------|----------------|
| PMF | 65.17 | 1.0 | 65.0 | 66.2 | △1.2m | Insufficiency |

미호저수지의 수문학적 안정성 평가 결과 가능최대홍수량 유입시 현재의 비월류부 표고를 초과하므로 여유고가 부족한 것으로 나타났다. 따라서 안정성 확보를 위하여 여수로 확장 등 구조적 대책이나 홍수기 저수지 운영률을 변경하거나 개선하는 비구조적 대책이 필요한 것으로 분석되었다. 또한 하류 하천에 대해서도 일부 여유고 부족구간에 대한 별도의 제방보강 등 지속적인 하천기본계획의 시행이 필요할 것으로 분석되었다.

<Table 11>은 미호저수지의 홍수량 산정 결과를 나타낸 것이다.

<Table 11> Designed flood results

(Unit: m³/s)

| Item | Return period (year) | | PMF |
|------|----------------------|-------|---------|
| | 100 | 200 | |
| Miho | 841.7 | 948.5 | 2,737.3 |

IV. 결론

본 연구에서는 미호저수지가 가능최대홍수량에 최고수위가 저수지를 월류하지 않고 충분한 여유고를 가질 경우 수문학적으로 안정성이 있는 것으로 판단할 수 있으며, 그렇지 못할 경우에는 수문학적으로 문제점이 있는 것으로 판단할 수 있다. 또한 설계홍수 및 가능최대홍수량의 홍수유입량이 저수지의 극한 상황임을 고려하여 수문조작과 수위 변화에 따른 여수토의 배제능력 한도내에서 방류할 경우의 침투홍수위를 검토함으로써 저수지의 수문학적 안정성을 판단하였다.

미호저수지의 수문학적 안정성을 검토한 결과 수문학적 안정성을 확보하지 못하는 것으로 분석되어 안정성 확보를 위하여 여수로 확장 등 구조적 대책이나 비구조적 대책이 필요한 것으로 분석되었다. 또한 하류하천에 대해서도 일부 여유고 부족구간에 대한 별도의 제방보강 등 지속적인 하천정비기본계획의 시행이 필요할 것으로 분석되었다.

변경된 저수지 설계기준에 따른 미호저수지의 가능최대홍수량 산정 결과 과거의 저수지 설계기준이었던 200년 빈도 확률홍수량 948.5m³/s에 비해 약 290% 큰 2,737.3m³/s의 침투홍수량을 나타내 가능최대홍수량을 계획홍수량으로 적용할 경우의 적정성 확보 등이 문제가 될 것으로 판단된다.

참고문헌

건설교통부. 2000. 지역적 설계강우의 시간별 분포.
 건설교통부. 2000. 한국 가능최대강수량 추정, 1999년도 수자원관리기법개발연구조사 보고서 제2권.
 건설교통부. 2004. 전국 PMP도 제작성 보고서.
 건설교통부. 2005. 댐설계기준.
 김상우. 2010. 가능최대홍수량 적용에 따른 농업용저수지의 수문학적 안정성 분석, 충북대학교 석사학위 논문.
 김상우, 맹승진. 2010. 최대가능홍수량 적용에 따른 농업용저수지의 수문학적 안정성 분석, 한국관개배

수논문집. 17(2): 28-34.

농림부. 2003. 재해대비 수리시설 설계기준 개정.

Hershfield, D. M. 1961. Estimating the Probable Maximum Precipitation. *Journal of Hydraulics Division*(American Society of Civil Engineers). 87: 99-106.

Institute of Hydrology. 1999. *Flood Estimation Handbook*.

Natural Environment Research Center. 1975. *Flood Studied Report, Vol II, Meteorological Studies*. London: 38-41.

秋泰鎭: 미국 피츠버그대학교 토목공학과에서 공학박사 학위를 취득하였으며(1998. 12), 현재는 부산대학교 토목공학과 부교수로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 방재공학, 수리수자원공학, 상하수도공학분야이며, 현재 대한토목학회, 한국수자원학회, 방재학회 등에서 활동 중이다(thchoo@pusan.ac.kr).

孟昇辰: 충북대학교에서 “LH-모멘트의 적정 차수 결정에 의한 설계홍수량 추정”으로 농학박사 학위를 취득하였으며(2002. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과 부교수로 재직 중이다. 주요 연구 분야는 수문통계, 강우-유출 모형 개발, 수문자료 측정 분야이며, 현재 한국농공학회 이사, 한국수자원학회 편집위원 등으로 활동 중이다(maeng@cbnu.ac.kr).

金相宇: 충북대학교 지역건설공학과를 졸업하고, 동 대학원에서 공학석사 학위를 취득하였다(2010. 8). 현재 한국농어촌공사 기술본부에서 근무 중이다(mrkim97@ekr.or.kr).

金炯山: 충북대학교 지역건설공학과를 졸업하고, 동 대학원에서 공학석사 학위를 취득하였다(2011. 2). 현재 충북대학교 지역건설공학과에서 박사과정 중이다(kimhs@cbnu.ac.kr).

鄭至惠: 충북대학교 지역건설공학과에서 공학사를 학위를 취득하였으며(2012. 2), 현재는 충북대학교 지역건설공학과에서 석사과정 중이다(jeongjihye@cbnu.ac.kr).

투 고 일: 2013년 01월 07일

수 정 일: 2013년 02월 14일

게재확정일: 2013년 02월 15일

Analysis on Hydrologic Stability of Miho Reservoir Using Probable Maximum Flood

Tai Ho Choo, Seung Jin Maeng, Sang Woo Kim, Hyung San Kim, Ji Hye Jeong

This study is concluded that Miho reservoirs are not hydrologically stable and therefore structural measures including the extension of spillway and non structural measures should be taken. Continuous basic plan for river maintenance including additional bank reinforcement to bottom river shall be carried out. Due to high peak flood with more than 290% compared to 200 year frequency probability flood which was design standard of the past in view of the results of calculating PMF (Probable Maximum Flood) according to revised design standard for reservoirs, there could a problem for securing rationality in case of applying PMF with design flood. Therefore, hydrological stability, construction, and maintenance cost shall be synthetically studied and reasonable application shall be made if the decision is made on applying PMF with design flood.

Key words: Miho reservoir, flood control system for reservoir, probable maximum precipitation, hydrologic stability, probable maximum flood