

## 낙동강하류 유황을 고려한 안동댐의 효율적인 용수공급방안에 관한 연구

### A Study on the Effective Operating System for Water Supply of Andong Dam Considering the Flow of Nak-dong River

이제찬\* · 장석환\* · 이창해\*\*\*

Lee, Che Chan · Jang, Suk Hwan · Lee, Chang Hae

#### Abstract

The purpose of this study is to find an effective operating system for water supply of Andong Dam. The reliability of water supply was assessed by HEC-5 model based on operated water supply data of Andong Dam and data of Jin-dong water level gauge station in Nak-dong river. In addition, estimated additional amount of water supply was evaluated for each alternative by additional retention of Andong Dam in rainy season from June to September. As the result, additional amount of water supply of each alternative in non-rainy season (excluding rainy season) is increased as  $1.35 \text{ m}^3/\text{s} \sim 2.12 \text{ m}^3/\text{s}$ , it shows that additional amount of water supply can be made by effective operating system for water supply in every dam as Andang Dam.

**Key words** : Andong Dam, HEC-5 model, Reliability of water supply, Non-rainy season Additional amount of water supply

#### 요 지

본 연구는 낙동강유역 안동댐을 대상으로 기존댐의 효율적 이용 및 증대방안을 연구하는데 목적이 있다. 본 연구에서는 낙동강하류를 대표하는 진동지점의 유황특성을 파악하고 안동댐 실측운영자료를 기준으로 HEC-5 모형을 이용하여 안동댐 용수공급 신뢰도를 평가하였으며, 비홍수기에 추가 용수공급량에 대하여 방안별 용수공급능력을 평가하였다. 연구결과, 낙동강 유량이 풍부한 홍수기에 댐하류 공급량을 안동댐에 저장했다가 비홍수기에 추가 공급가능량은 방안별로  $1.35 \text{ m}^3/\text{s} \sim 2.12 \text{ m}^3/\text{s}$ 정도로 평가하였으며, 이를 바탕으로 현시점에서 여타 기존댐에 대해 댐건설 당시 적용된 농업용수 사용량을 재조사하여 최적의 필요량을 공급하고 비홍수기에 공급할 수 있는 방안 등의 효율적인 용수공급증대 방안에 대하여 발전적인 연구와 실효성있는 댐운영을 기대한다.

**핵심용어** : 안동댐, HEC-5 모형, 용수공급 신뢰도, 비홍수기 추가 용수공급량

#### 1. 서 론

우리나라 수자원 이용량은 2006년 기준수요 시나리오를 기준할 때  $343.8 \text{억 m}^3/\text{년}$ 이나, 생활수준 향상, 도시화 및 산업화 등에 기인하여 2011년에는  $355.0 \text{억 m}^3/\text{년}$ 로 증가하고 개발중인 공급시설을 포함하면 물부족은  $3.4 \text{억 m}^3/\text{년}$ 정도 발생한다(건설교통부, 2006). 이 물부족량을 규모면에서 기존댐 사례를 살펴보면 용수공급능력이 섬진강댐  $3.5 \text{억 m}^3/\text{년}$ , 임하댐  $5.9 \text{억 m}^3/\text{년}$ 정도 규모의 취수원개발이 필요하다는 의미이다. 장래 물부족을 해소하기 위해서는 공급시설의 건설이 불가피하고 이중 댐개발이 가장 효과적인 방법이나, 신규댐 개발은 댐적지 희소, 사업비 증가, 공사비 양등, 댐건설의 장기

화, 지역주민 및 각 환경단체의 반발 등으로 건설이 점점 어려워지고 있으며, 댐건설이 유보된 대표적인 사례로 영월댐, 내린천댐 및 마곡천댐 등이 있다. 장래 증가하는 물수요에 대하여 즉각적인 대처가 어려울 경우 물부족은 더욱 극심하게 되는 것은 자명하다. 이러한 측면에서 효과적인 신규 공급시설을 개발하거나, 기존 수자원의 효율적인 이용 및 활용을 위한 연구가 절실히 필요하다. 한편, 기존 수자원의 효율적인 활용을 위한 용수공급능력평가 및 방안증대에 대한 유사한 연구중 우리나라 다목적댐 용수공급능력 평가(박성산 등, 2001)는 우리나라 다목적댐들의 가뭄정도와 가뭄기간을 저수지 모의운영하여 저수지 가뭄회복특성 및 가뭄발생빈도에 따른 다목적댐의 용수공급능력 등을 발생가뭄 사상별로 파악 및

\* 도화종합기술공사 수자원개발부 이사 (E-mail : sujini94@dohwa.co.kr)

\*\* 정희원 · 대전대학교 건설시스템 공학과 교수 (교신저자)

\*\*\* 대전대학교 환경공학과 교수

평가하였다. 유역내 댐 용수의 가용능력 평가방법(김남원 등, 2001)은 낙동강 유역내 다목적댐의 용수공급능력 증대는 물론이고 유역내 물부족 감소, 하천 가능유지유량의 증대 개선에 효과를 위해 다목적댐들의 초기수위를 평균운영수위로 변화에 따른 용수공급능력을 평가하였다. 또한, 저수지 최적운영모형을 이용한 추가 용수공급능력 평가(강민구 등, 2005)은 자체 개발한 저수지의 용수공급능력을 평가할 수 있는 최적화모형으로 하류용수 수요증가에 따른 최적의 섬진강댐 하류 용수공급 가능량에 대하여 연구하였다. 그리고, 다목적댐 용량 재할당에 의한 용수공급량 증대(이재웅 등, 2003)는 기존댐의 효율적 이용이 가능함에도 불구하고 저수지용량이 기존댐 증고, 기존댐 용도변경 등의 특별한 사항이 발생되기 전까지 건설당시 용량을 그대로 이용하는 불합리한 측면에 대하여 용담댐의 홍수조절능력을 감안한 대청댐의 유효저수용량을 재할당하여 용수공급량을 증대시키는 방안이 연구되었다. 이 연구들은 다목적댐들의 가뭄정도, 가뭄기간, 발생빈도 등의 유용한 정보를 얻을 수 있고 다목적댐들의 초기수위를 변화함에 따라 용수공급능력을 파악할 수 있으며, 하류 용수 수요 증가에 의한 최적의 용수공급 가능량을 판정이 가능하다. 또한, 상류댐의 치수능력을 하류댐의 이수용량으로 활용이 가능하다. 그러나, 이들의 연구성과는 자체 이수용량의 효율적인 용수공급방안이 아니므로 본 연구에서 기존 수자원의 효율적인 이용 및 활용측면에서 기존댐의 한정된 유효저수용량으로 효율적인 용수공급증대방안을 연구하였다.

즉, 본 연구는 안동댐을 대상으로 하류공급량중 연간 일정하게 직접공급하는 생공용수 및 하천유지용수 공급량에 대하여 낙동강하류 진동지점 유량이 풍부한 홍수기에 안동댐 하류공급량을 저수지에 저류하였다가 비홍수기에 추가 공급함에 따른 기존 수자원의 효율적 이용 및 증대방안을 제시하고자 한다.

## 2. 유역 및 댐운영 현황

### 2.1 낙동강유역 및 안동댐 현황

우리나라 남동부에 위치한 낙동강 유역은 전 국토의 약 1/4에 해당하는 23,384.21 km<sup>2</sup>이고, 하구에서 발원지까지의 최장 유로연장은 511.92 km이다. 낙동강유역에서 먹는물을 공급하는 취수원중 다목적댐은 안동댐, 임하댐, 남강댐, 합천댐 및 밀양댐 등이 있다. 안동댐은 4대강 유역 종합개발사업의 일환으로 개발되었으며, 낙동강하류 지역에 관개용수 및 생공용수를 공급하고 발전 및 홍수조절을 목적으로 낙동강 최상류에 건설되었다. 안동댐의 유역면적은 1,584 km<sup>2</sup>이고 저수지규모는 총저수용량 1,248백만 m<sup>3</sup>, 유효저수용량 1,000백만 m<sup>3</sup>이며, 본댐은 높이 83 m, 길이 612 m, 댐형식이 Rock Fill Dam

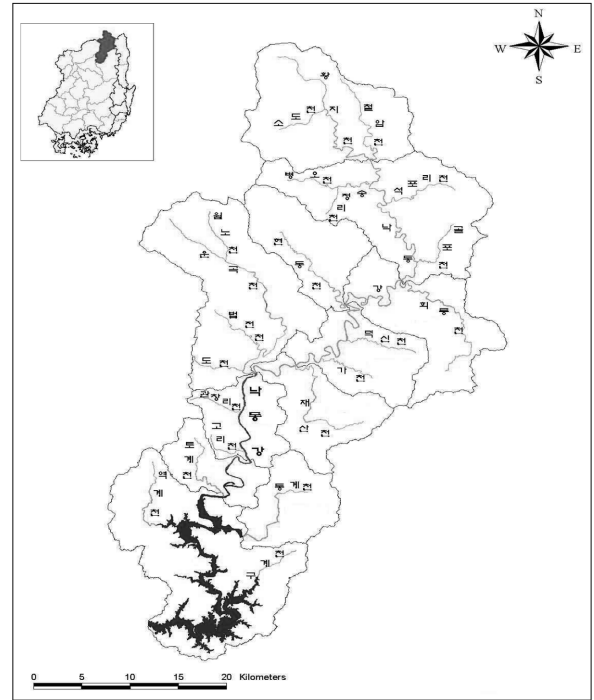


Fig 1. Basin map of Andong-Dam

으로 건설되었다. 연간공급능력은 생공용수 450백만 m<sup>3</sup>, 농업용수 300백만 m<sup>3</sup>, 하천유지용수 176백만 m<sup>3</sup>으로 총 926백만 m<sup>3</sup>로 계획되었다(한국수자원공사, 2007).

### 2.2 유입유출 현황

유출(Runoff)은 강수로 인한 물이 증발과 증산, 침투와 침투, 지하수 등의 성분과정을 거치면서 결국 하천유량의 형태로 흐른다. 유출분석 목적은 하천유량과 유황을 정량적으로 파악함으로써 수자원의 최적이용 및 관리를 도모하고 유역내 수자원개발이 하천유량의 흐름양상을 양적으로 비교함으로써 개발로 인한 효과를 분석하기 위함이다. 낙동강 유출특성은 유역을 대표하고 수위표지점 중에서 조석영향이 없으며, 수위-유량관계 자료 및 위치의 신뢰성 등을 고려하여 진동지점을 선정하였다. 진동지점 유출분석은 기존계획에서 개발하고 수위관측소에서 제시한 수위-유량관계식에 1966년~2001년간 36개년 일평균 수위를 적용하였으며, 낙동강유역에서 임하다목적댐 건설 전(구 남강댐 '69년, 안동댐 '77년, 합천댐 '89년, 임하댐 '93년)과 건설 후를 기준으로 분석하였다.

유출분석 결과를 살펴보면 4개의 다목적댐 건설 후는 1994년을 기준으로 한 댐건설 전보다 비홍수기인 1월, 2월 및 12월 유량이 많고 홍수기인 7월, 8월, 9월은 적은 것으로 나타났다. 이는 다목적댐들의 유량 조절효과로 판단된다. 한편, 36개년 평균유출량은 <Table 1> 및 <Fig. 2>와 같이 364 m<sup>3</sup>/s로

Table 1. Monthly mean discharge data of Before(1994 year) and after construction of Andong-Dam (Unit : m<sup>3</sup>/s)

Contents	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
Before construction of Andong Dam	91	129	187	292	262	317	1041	940	780	236	145	106	377
After construction of Andong Dam	123	135	180	205	194	395	683	688	673	259	126	130	316
Average	98	130	186	273	247	334	961	884	756	241	141	111	364

Note) Duration of analysis : 36 years(1966-2001)

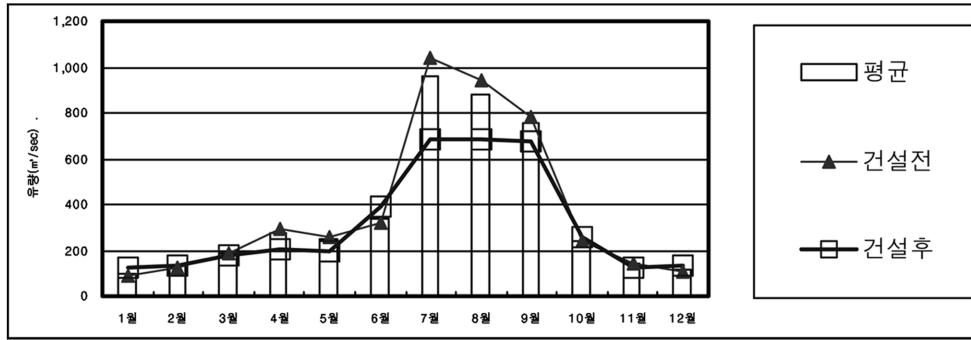


Fig 2. Monthly mean discharge curve of Jindong water level gauge station

나타났으며, 6월~9월 4개월간의 홍수기 평균유출량은 734 m³/s이고, 10월부터 5월까지의 8개월간 비 홍수기 평균유출량은 178 m³/s의 결과를 살펴볼 때, 전년 평균유출량에 비해 홍수기는 200%이상, 비 홍수기는 50%이하로 유출되는 것으로 나타났다.

한편, 안동댐은 1976년 댐완공 이후 유입량, 강우량, 하류 용수공급량 및 방류량 등의 수문량을 관측 운영하고 있으며, 댐유입량은 30개년(1977년~2006년)간 실측유량을 적용하였다. 안동댐의 30개년간 연평균 유출량은 <Table 2> 및 <Fig. 3>과 같이 32.8 m³/s(1,034백만 m³)으로 나타났으며, 홍수기 평균유출량은 69.4 m³/s이고, 8개월 간의 비 홍수기 평균유출량은 14.5 m³/s로 나타났다. 안동댐 유출은 낙동강 진동지점과 같이 전년 평균유출량에 비해 홍수기는 200%이상, 비홍수기는 50%이하의 유출특성으로 나타났다.

### 2.3 안동댐 계획공급량

안동댐은 낙동강하류 생공용수 및 하천유지용수와 본류로

부터 관개하는 농업용수 등 총 29.4 m³/s(926백만 m³/년)의 공급량을 보장하도록 개발되었다. 용도별로는 <Table 3> 및 <Fig. 4>와 같이 생공용수 14.3 m³/s(450백만 m³/년), 하천유지용수 5.6 m³/s(176백만 m³/년), 농업용수 9.5 m³/s(300백만 m³/년)를 공급하며, 월별로는 생공용수와 하천유지용수가 일정하게 19.9 m³/s를 공급하고 농업용수는 관개기에 따라 불규칙하게 9.5 m³/s를 공급하고 있다. 여기서, 월별로 일정하게 공급하는 생공용수 및 하천유지용수 수요처는 대구 및 부산 등의 낙동강 중·하류 지역으로써 안동댐하류로 직접 방류하는 용수공급량은 본류에서 취수한다.

## 3. 평가기준 및 방법

### 3.1 용수공급능력 평가기준

댐의 용수공급능력 평가기준은 크게 보장공급량 기준과 신뢰도 기준으로 구분할 수 있다. 보장공급량은 최악의 갈수기에도 용수공급을 보장할 수 있는 최대공급량을 의미하며 이

Table 2. Monthly mean discharge data of Andong-Dam

(Unit : m³/s)

Contents	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
Mean discharge	5.4	8.0	15.3	29.0	26.9	33.6	96.5	84.3	63.1	15.0	9.4	6.8	32.8

Note) Duration of analysis : 30 years(1977~2006)

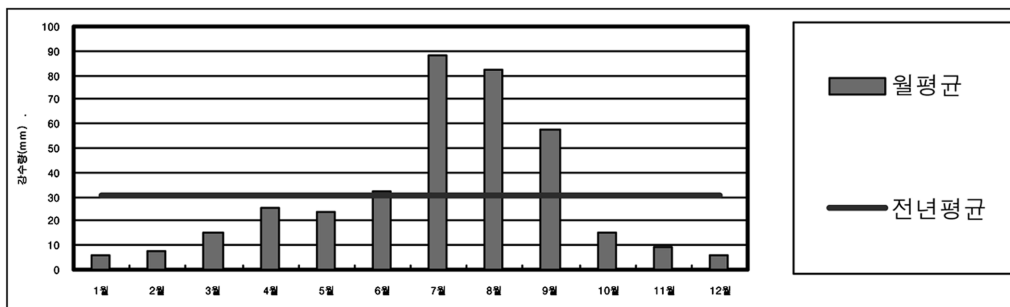


Fig 3. Monthly mean discharge curve of Andong-Dam

Table 3. Monthly amount of water supply to downstream of Andong-Dam

(Unit : m³/s)

Contents	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Average
Municipal&Industrial water	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
River maintenance flow	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
Irrigation water				0.9	13.8	29.4	20.6	30.3	16.5	2.1			9.5
Total	19.9	19.9	19.9	20.8	33.7	49.3	40.5	50.2	36.4	22.0	19.9	19.9	29.4

Data) KOWACO, 2007, Guidebook of operation of multipurpose dam

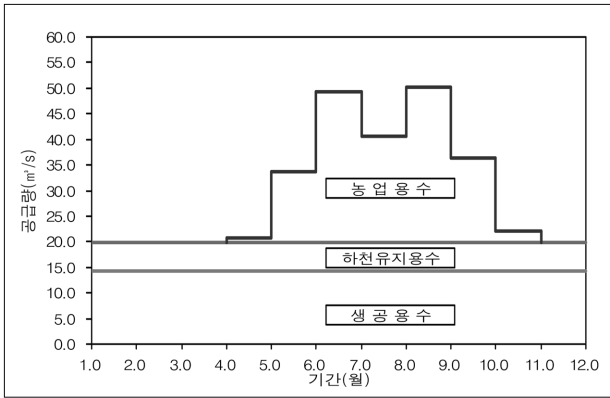


Fig 4. Schematic diagram of water supply to downstream of Andong-Dam

때 최악의 갈수기란 기록상 최저유량의 계속기간을 뜻한다. 보장공급량 기준은 물 부족을 전혀 발생시키지 않은 상태에서 가능한 공급량을 기준으로 용수공급능력을 평가함에 따라 용수공급을 지나치게 축소하여 수립함으로써 수자원이용율의 저하를 가져올 수 있다.

그러나, 신뢰도 기준은 분석기간이 짧을 경우 용수공급능력이 왜곡되는 문제가 있으나, 전체기간중 일정비용 동안만 물 부족이 발생하는 공급량을 평가하는 개념으로 자료의 기간이 길수록 보다 정확도가 높아지는 방법이라 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 보장공급량 기준에 의한 용수공급능력 평가보다 합리적인 신뢰도 기준에 의한 용수공급능력 평가를 적용하였다. 저수지 모의운영기법과 연계운영시 신뢰도를 산정하는 방법은 아래 식과 같이 물공급 충족년수 대비 총 분석년수를 백분율로 표기하고 물공급 충족단위에 따라 연간단위기준, 기간단위기준, 공급량단위기준 등으로 구분된다. 이를 동일 신뢰도에 따른 상대적 크기로 비교하면 연간단위기준에 의한 용수공급량이 가장 적고, 단위기간기준에 의한 용수공급량이 연간단위기준에 의한 용수공급량보다는 크나 공급량단위기준에 의한 용수공급량보다는 상대적으로 적게 나타난다(건설교통부, 1997).

본 연구에서는 동일 신뢰도시 상대적 크기가 중위를 나타내고 물부족 차이가 적게 나타난 것으로 전체 분석기간 중 물 부족이 발생하지 않는 단위기간수의 비율을 산정하는 기간단위 신뢰도를 적용하였다.

$$\textcircled{\circ} \text{연간단위 신뢰도}(\%) = \frac{\text{충족년수}}{\text{총분석년수}} \times 100 = \frac{N_Y}{T_Y} \times 100 \quad (1)$$

$$\textcircled{\circ} \text{기간단위 신뢰도}(\%) = \frac{\text{충족기간수}}{\text{총분석기간수}} \times 100 = \frac{N_P}{T_P} \times 100 \quad (2)$$

$$\textcircled{\circ} \text{공급량단위 신뢰도}(\%) = \frac{\text{공급가능량}}{\text{공급계획량}} \times 100 = \frac{N_Q}{T_Q} \times 100 \quad (3)$$

$$\textcircled{\circ} \text{동일 신뢰도시상대적 크기} : \frac{N_Y}{T_Y} \leq \frac{N_P}{T_P} \leq \frac{N_Q}{T_Q} \quad (4)$$

### 3.2 용수공급능력 평가방법

저수지의 용수공급능력 평가는 기본적으로 유입량-저류량-공급량 관계를 어떤 방법으로 분석하느냐에 있으며, 분석기법으로는 크게

- 1) 저수지 규모 또는 용수공급능력을 평가하는 누가곡선법(ripple method)
- 2) 저수지의 유입량, 방류량, 손실량에 따른 저수량의 변화를 연속적으로 표현하여 저수지의 상태를 나타내는 저수지 모의운영 기법
- 3) 유역전체의 일관된 기준으로 갈수기간 단위별 물수지분석으로 통하여 댐의 용수공급을 평가하는 물수지 분석법
- 4) 댐군의 연계운영을 통한 방류 최대화, 물부족 최소화, 발전 효율의 최대화 등 최적화 목표에 따라 목적댐의 최대공급량을 산정하는 최적 기법 등의 있다.

본 연구는 정량적인 용수공급평가가 용이한 저수지 모의운영기법을 적용하였으며, 동 기법은 저수지를 하나의 계(系, system)로 보고 저수지 입력과 출력 및 계의 상태변화를 고려하는 일종의 물수지 분석이며, 저수지 모의운영 또는 형태 분석(behaviour analysis)이라고도 한다. 저수지로의 입력에는 유입량과 강수량 등이 있으며 출력에는 방류량, 수면증발량 및 기타 손실량이 포함된다. 일반적으로 저수지 수면의 강수량과 기타 손실량은 무시하며 다음식과 같은 저수지의 상태를 나타내는 물수지 방정식으로 저수지 상태의 변화를 모의한다.

$$S = \sum (S_U + S_I + E_V - I_N) / \Delta T \quad (5)$$

여기서,  $S_U$ : 유효저수량(백만 $m^3$ ),  $S_I$ : 용수공급량(백만 $m^3$ )  
 $E_V$ : 수면증발량(백만 $m^3$ ),  $I_N$ : 용수공급량(백만 $m^3$ )  
 $\Delta T$ : 단위시간

또한, 모의운영 단위시간은 월단위 또는 순단위를 사용하는 것이 일반적이며 저수량 S는 유효저수량과 최저저수량 사이의 범위에 있어야 한다는 제약조건과 함께 저수지의 운영을 고려하여 저수량에 따른 방류량의 제한을 반영할 수 있다. 저수지 모의운영기법은 비교적 간단한 절차에 의해 저수지의 저류상태의 변화를 명확하게 보여줄 수 있으며 유입량 기록이 갖는 자기상관성, 계절성 및 기타 특성을 고려할 수 있다. 또한 자료의 가용 범위내에서는 임의시간 단위로 적용할 수 있으며 실제 운영상황에서 발생할 수 있는 복잡한 운영정책을 고려하여 모형화 할 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 저수지 모의운영에 의한 용수공급능력평가를 위해 미육군 공병단에서 개발하여 세계적으로 이용되는 범용 저수지 모의운영 프로그램인 HEC-5 모형을 적용하였으며, 동 모형은 단독댐 또는 상하류에 직렬로 연결된 저수지의 용수공급 능력 평가에는 적합하다.

### 3.3 HEC-5 모형

HEC-5 모형은 다목적 저수지군 운영에 관한 기존의 컴퓨터

터 프로그램을 대표할 수 있으며, 최초 Version이 단일홍수조절의 모의운영에 관한 것으로 1973년 5월에 개발되었다. 그 후 이수목적의 모의운영기능이 추가된 HEC-5 모형이 1978년 2월에 개발되었고 점진적으로 기능 및 용량을 개선해 왔으며, 1991년 4월에 간행된 “HEC-5, Simulation of Flood Control and Conservation System”이 최근까지 사용되었으며 1998년 10월에 발표된 Ver. 8.0을 본 연구에 사용하였다.

이 프로그램은 여러 개의 저수지와 조절점으로 구성된 저수지시스템의 특성 및 문제점에 따라 부과되는 각종 구속조건하에서 주운, 수력발전, 용수공급 등의 이수목적과 홍수조절 등 이수목적의 요구를 최대한 충족시킴으로서 수자원 활용전반에 걸친 저수지 시스템 운영을 최적화하는데 그 목적이 있다. Fortran으로 작성된 이 프로그램은 미공병단 수문공학연구소 (Hydrologic Engineering Center)가 DC7600컴퓨터를 사용하여 개발하였으며 분석가능한 작업용량으로 저수지 20개소, 조절점 40개소, 취수지점 20개소, 발전소 12개소를 각 홍수 및 비홍수사상에 관한 시기 및 회수에 관계없이 포함시켜서 모의운영분석이 가능하다 (한국수자원공사, 1994. 12).

HEC-5의 기능은 저수지의 홍수조절용량, 이수용량 결정하고 홍수조절 및 용수공급가능량, 발전에너지 산정 등을 산정하며, 홍수피해액, 홍수조절비용 및 편익, 발전편익 등을 산정할 수 있다. 또한, 용도는 계획단계에서 수계의 대상저수지를 평가하고 홍수조절 및 저수용량 결정에 도움을 주고자 미공병단에서 개발하여 댐 조사, 설계, 운영업무 등의 실무에서 가장 많이 적용되고 있다.

#### 4. 용수공급능력 평가

##### 4.1 저수지 모의운영 기준 및 조건

저수지의 용수공급능력이란 댐에 의해 형성된 저수지로부터 공급가능한 물의 양을 의미하며, 이에 대한 평가는 신규수자원 확보와 저수지 규모 결정 등을 포함하는 수자원 공급계획의 수립에 필수적인 요소이다. 용수공급능력을 평가하는데 적용된 방법은 설계기준이 명확하지 않고 댐들마다 또는 조사 시기에 따라 상이하하며, 평가기준과 방법의 일관성이 없어 각 댐에 제시되어 있는 용수공급측면의 제원에 대한 상대적 비교가 어렵고 통일성이 결여되어 있다. 따라서, 본 연구에 필요한 저수지 모의운영 기준 및 조건을 적합하게 설정하여 기준안동댐과 방안별 용수공급능력을 평가하였다.

저수지 모의운영은 기준안동댐을 우선 모의하였으며, 용수공급방안 설정은 <Fig. 5>와 같이 안동댐에서 하류로 연간 일정하게 직접 공급하는 생공용수 및 하천유지용수 공급량에 대하여 낙동강하류 진동지점 유량이 풍부한 홍수기에 댐 하류 공급량을 저수지에 저류하였다가 비 홍수기에 추가로 용수공급 하는데 있어서 홍수기를 3개방안으로 설정하여 모의하였다. 즉, 용수공급방안은 안동댐의 기간단위 신뢰도와 연간 평균공급량을 방안별로 동일하게 적용하고 홍수기 용수공급량을 비 홍수기에 일정하게 배분하는데 이중 홍수기를 제1안은 6월~8월(3개월), 제2안은 7월~9월(3개월), 제3안은 6월~9월(4개월)로 설정하였다.

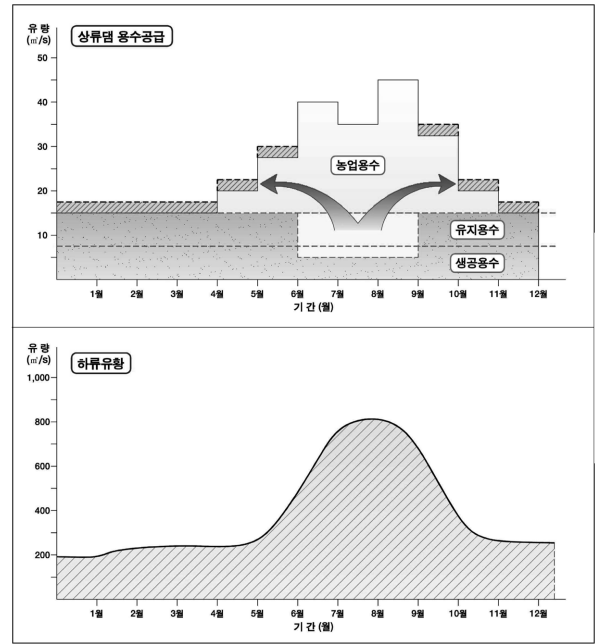


Fig 5. Concept graph of water supply capability

모의운영 기준으로 운영기간은 1977년부터 2006년까지 30개년, 모의운영 단위는 월 단위 실측유입량, 신뢰도를 기준안동댐의 기간단위신뢰도 360개월중 10개월 물부족 허용기준치인 97.2%를 적용, 모의운영기법은 HEC-5 Model을 이용하고 기초 입력 자료는 낙동강수계 기준댐 용수공급능력조사 (1997) 성과를 적용하였다. 모의운영 조건으로 저수지증발량은 유입량에 포함한 것으로 간주, 저수지초기수위는 상시만수위로 가정, 상시만수위 이상은 여수로를 통해 하류로 방류, 저수지 수위가 저수위(LWL)까지 하강하면 유입량만을 공급하고 저수위 유지, 하류 용수 공급량중 농업용수는 모든 방안별로 불균등하게 9.5 m³/s 공급 등으로 설정하였다.

##### 4.2 안동댐 용수공급능력 검토

낙동강 최상류에 위치한 안동댐에서 댐 직하류로 방류하는 용수공급량은 연간 일정하게 공급하는 생공용수 및 하천유지용수 19.9 m³/s와 4월 21일부터 9월 20일까지 불규칙하게 공급하는 농업용수 9.5 m³/s로 총 29.4 m³/s를 공급하고 있다. 저수지 모의운영 기준 및 조건에 의거하여 모의운영 결과, <Table 4> 및 <Fig. 6>과 같이 360개월(1977~2006년) 모의운영기간 저수지 평균유입량은 32.47 m³/s, 평균방류량은 32.78 m³/s이고 저수위까지 내려간 기간은 10개월로써 기간단위신뢰도는 97.2%이고 평균 물부족량은 0.38 m³/s로 나타났다. 전년평균 저수지수위는 EL.149.07 m로 상시만수위 (EL.160.0m)보다 10.93m 낮게 운영된 것으로 나타났다.

##### 4.3 방안별 용수공급능력 검토

안동댐에서 연간 일정하게 직접방류하는 용수공급량 19.9 m³/s에 대하여 유량이 풍부한 홍수기에 저수지에 저류하였다가 비홍수기에 추가 용수공급하는데, 홍수기를 제1안은 6월~8월, 3개월 동안, 제2안은 7월~9월, 제3안은 6월~9월까지 4개월 등 3개방안으로 설정하여 방안별로 용수공급능력을 분

Table 4. Result of water supply operation simulation by HEC-5 model in current condition

Year	Inflow (m <sup>3</sup> /s)	Outflow (m <sup>3</sup> /s)	LWL (EL.m)	Shorts (m <sup>3</sup> /s)	Year	Inflow (m <sup>3</sup> /s)	Outflow (m <sup>3</sup> /s)	LWL (EL.m)	Shorts (m <sup>3</sup> /s)
1977	20.18	29.37	156.40	0	1993	43.30	38.04	154.75	0
1978	31.91	29.37	153.17	0	1994	16.82	29.37	151.45	0
1979	34.30	31.32	157.82	0	1995	18.11	29.37	136.60	0
1980	41.38	40.34	158.21	0	1996	17.22	21.22	126.79	8.15
1981	31.22	32.47	157.06	0	1997	33.54	26.15	131.25	3.22
1982	15.04	29.37	150.16	0	1998	43.60	29.37	143.45	0
1983	22.78	29.37	137.82	0	1999	40.49	33.16	153.72	0
1984	30.19	29.37	132.08	0	2000	27.75	29.37	155.98	0
1985	36.85	29.37	136.99	0	2001	17.69	29.37	152.02	0
1986	19.93	29.37	137.31	0	2002	52.84	40.95	150.78	0
1987	45.18	29.37	143.63	0	2003	62.12	61.46	158.92	0
1988	22.28	29.37	148.04	0	2004	41.73	43.27	158.10	0
1989	35.78	29.37	147.29	0	2005	26.93	29.37	155.88	0
1990	48.18	40.58	157.29	0	2006	40.34	41.00	155.18	0
1991	33.69	34.04	158.29	0					
1992	22.68	29.37	155.80	0	Average	32.47	32.78	149.07	0.38

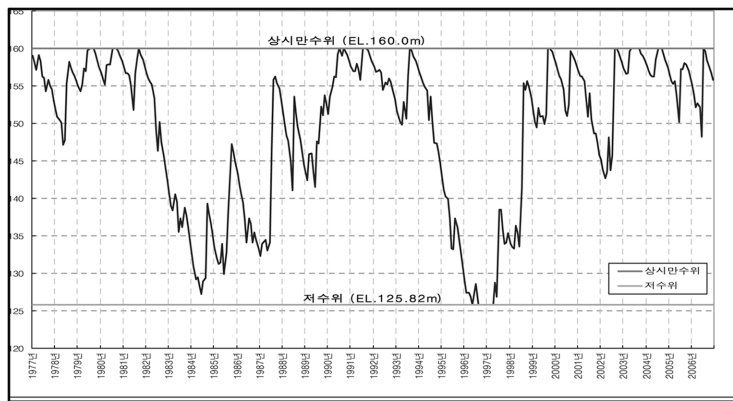


Fig 6. Water level curve of current condition

석하였다. 방안별 용수공급능력은 안동댐의 기간단위 신뢰도 97.2%, 댐하류 평균공급량 19.9 m<sup>3</sup>/s, 총 용수공급량 29.4 m<sup>3</sup>/s를 동일하게 적용하여 분석하였다.

방안별로 시산과정을 통해 모의운영 결과를 살펴보면, 제1안은 안동댐하류 용수공급량 19.9 m<sup>3</sup>/s를 6월~8월동안 15.85 m<sup>3</sup>/s를 공급하고 나머지 9개월 동안 21.25 m<sup>3</sup>/s를 일정하게 공급하는 조건으로써 1977~2006년간 360개월 저수지 평균유입량은 32.47 m<sup>3</sup>/s, 평균방류량은 32.79 m<sup>3</sup>/s, 평균수위는 EL.148.81 m, 저수위까지 내려간 평균 물 부족량은 0.41 m<sup>3</sup>/s로 나타났다. 제2안은 댐 하류 용수공급량 19.9 m<sup>3</sup>/s를 7월~9월까지 3개월 동안 15.34 m<sup>3</sup>/s를 공급하고 나머지 9개월 동안 21.42 m<sup>3</sup>/s를 일정하게 공급하는 조건으로 360개월간 평균방류량은 32.78 m<sup>3</sup>/s, 평균수위는 EL.148.72m, 평균 물 부족량은 0.40 m<sup>3</sup>/s로 나타났다. 제3안은 댐하류 용수공급량 19.9 m<sup>3</sup>/s를 6월~9월까지 4개월동안 15.66 m<sup>3</sup>/s를 공급하고 나머지 8개월 동안 22.02 m<sup>3</sup>/s를 일정하게 공급하는 조건으로써 360개월간 평균방류량은 32.78 m<sup>3</sup>/s, 평균수위는 EL.148.62 m, 평균 물부족량은 0.41 m<sup>3</sup>/s로 나타났다.

기존안동댐의 30개년간 평균수위는 EL.149.07 m으로 모의되었고, 방안별 평균수위는 기간단위 신뢰도와 댐하류 용수공

급량을 동일하게 설정함에 따라 제1안 EL.148.81 m, 제2안 EL.148.72 m, 제3안 EL.148.62 m로써 기존댐과 수위차이가 미소한 것으로 나타났다.

#### 4.4 분석 결과 및 검토

기존수자원의 효율적이용 및 활용을 위해 저수지 모의운영 조건 및 기준에 따라 안동댐 용수공급능력을 평가하고 홍수기의 댐하류 공급량을 비홍수기에 공급하는 방안에 대하여 방안별로 모의운영하였다. 안동댐의 용수공급량중 농업용수를 제외한 댐하류 공급량이 연간 일정하게 19.9 m<sup>3</sup>/s씩 방류하고 있으며, 실측유입량을 기준으로 기존안동댐에 대하여 저수지 모의운영 결과, 1977년~2006년까지 360개월 동안 물 부족 기간은 1996년과 1997년에 총 10개월간 발생하였고, 기간단위 신뢰도는 97.2%로 나타났다.

낙동강 유역뿐만 아니라 우리나라는 홍수기에 유량이 풍부하므로 최상류에 위치한 안동댐에서 낙동강 본류로 직접 공급하는 생공용수 및 하천유지유량 19.9 m<sup>3</sup>/s를 홍수기에는 최소로 공급하되, 이를 비 홍수기에 공급하는 방안별 용수공급능력을 평가하였다. 여기서, 모든 방안에 대해서 <Table 6>과 같이 기간단위 신뢰도 97.2%, 연평균 하류공급량 19.9 m<sup>3</sup>/s를

Table 5. Result of water supply operation simulation by HEC-5 model

Year	Inflow (m <sup>3</sup> /s)	Alternative 1			Alternative 2			Alternative 3		
		outflow (m <sup>3</sup> /s)	LWL (EL.m)	Shorts (m <sup>3</sup> /s)	outflow (m <sup>3</sup> /s)	LWL (EL.m)	Shorts (m <sup>3</sup> /s)	outflow (m <sup>3</sup> /s)	LWL (EL.m)	Shorts (m <sup>3</sup> /s)
1977	20.18	29.37	156.39	0	29.37	156.29	0	29.37	156.31	0
1978	31.91	29.37	153.06	0	29.37	152.94	0	29.37	152.92	0
1979	34.30	31.68	157.68	0	31.74	157.62	0	31.87	157.57	0
1980	41.38	40.34	157.95	0	40.36	157.88	0	40.35	157.77	0
1981	31.22	32.49	156.75	0	32.49	156.60	0	32.48	156.50	0
1982	15.04	29.37	149.79	0	29.37	149.58	0	29.37	149.44	0
1983	22.78	29.37	137.35	0	29.37	137.14	0	29.37	136.96	0
1984	30.19	29.37	131.62	0	29.37	131.41	0	29.37	131.22	0
1985	36.85	29.37	136.55	0	29.37	136.34	0	29.37	136.13	0
1986	19.93	29.37	136.88	0	29.37	136.67	0	29.37	136.46	0
1987	45.18	29.37	143.20	0	29.37	143.02	0	29.37	142.81	0
1988	22.28	29.37	147.62	0	29.37	147.42	0	29.37	147.19	0
1989	35.78	29.37	146.89	0	29.37	146.69	0	29.37	146.45	0
1990	48.18	40.68	157.02	0	40.71	156.96	0	40.65	156.80	0
1991	33.69	34.05	158.04	0	34.06	157.98	0	34.06	157.89	0
1992	22.68	29.37	155.49	0	29.37	155.34	0	29.37	155.24	0
1993	43.30	38.17	154.27	0	37.69	154.24	0	37.70	154.07	0
1994	16.82	29.37	150.93	0	29.37	151.26	0	29.37	151.09	0
1995	18.11	29.37	135.99	0	29.37	136.38	0	29.37	136.16	0
1996	17.22	20.80	126.60	8.57	21.25	126.68	8.12	21.05	126.65	8.31
1997	33.54	25.70	131.67	3.67	25.64	131.57	3.72	25.44	131.80	3.92
1998	43.60	29.37	143.82	0	29.37	143.74	0	29.37	143.93	0
1999	40.49	33.88	153.96	0	33.97	153.83	0	34.25	153.96	0
2000	27.75	29.37	155.74	0	29.37	155.56	0	29.37	155.49	0
2001	17.69	29.37	151.79	0	29.37	151.61	0	29.37	151.53	0
2002	52.84	41.09	150.41	0	41.13	150.26	0	41.15	150.12	0
2003	62.12	61.48	158.75	0	61.49	158.73	0	61.49	158.65	0
2004	41.73	43.27	157.85	0	43.29	157.79	0	43.28	157.70	0
2005	26.93	29.37	155.55	0	29.37	155.40	0	29.37	155.28	0
2006	40.34	40.80	154.83	0	40.28	154.84	0	40.32	154.66	0
Average	32.47	32.79	148.81	0.41	32.78	148.72	0.40	32.78	148.62	0.41

기준으로 모의운영한 결과를 살펴보면, 제1안은 홍수기 6~8월까지 3개월간 15.85 m<sup>3</sup>/s를 비 홍수기에 21.25 m<sup>3</sup>/s씩 공급 가능한 것으로 나타났다. 또한, 제2안은 홍수기 7~9월까지 3개월간 15.34 m<sup>3</sup>/s를 비 홍수기에 21.42 m<sup>3</sup>/s씩 공급 가능하고 제3안은 홍수기 6~9월까지 4개월간 15.66 m<sup>3</sup>/s를 비 홍수기에 22.02 m<sup>3</sup>/s씩 공급 가능한 것으로 나타났다. 즉, 비 홍수기 공급량은 안동댐 용수공급능력에 비해 제1안은 1.35 m<sup>3</sup>/s, 제2안은 1.52 m<sup>3</sup>/s, 제3안은 2.12 m<sup>3</sup>/s씩 추가로 공급 가능한 것으로 평가하였다. 추가 공급능력이 가장 많은 것으로 나타난 제3안과 기존안동댐의 저수지수위를 비교하면 <Fig. 7>과 같이 거의 유사하게 변동하는 것으로 나타났고 안동댐과 각 방안별 저수지수위를 비교한 결과 상관 계수가 0.9983~0.9992로 상관도가 높은 것으로 나타났으며, 저수지 평균수위도 EL.148.81m로써 기존댐과 수위차이가 0.26m로 미소한 것으로 나타났다.

따라서, 기존댐하류 공급량 19.9 m<sup>3</sup>/s에 대하여 유량이 많은 홍수기에 방안별로 15.66 m<sup>3</sup>/s~15.85 m<sup>3</sup>/s를 공급하고 비

홍수기에 21.25 m<sup>3</sup>/s~22.02 m<sup>3</sup>/s를 공급할 경우 안동댐은 방안별로 1.35 m<sup>3</sup>/s~2.12 m<sup>3</sup>/s정도 용수공급증대 효과가 있는 것으로 평가하였다.

## 5. 결 론

최근 이상기후로 인한 가뭄과 수요 급증으로 장래 물부족이 증가함에 따라 신규 수원확보가 필요한 실정이다. 그러나, 보상비를 포함한 신규수원 건설에 투입되는 사업비에 대한 경제적인 부담, 개발적지 희소, 환경 및 생태계 파괴 등의 문제가 많아 신규수원 개발이 어려운 실정이다. 이러한 당면 과제를 감안하여 기존 수자원의 효율적이용 및 증대 방안을 연구하였다. 즉, 낙동강유역을 대표하는 진동지점에 유량이 많은 홍수기 용수공급량을 상류 안동댐에 저수지에 저장하였다가 비홍수기에 용수공급하는 탄력적 용수공급방안을 연구하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 낙동강유역 진동지점 유출분석은 기존계획과 수위표에

Table 6. Comparison of current condition and alternatives in water supply operation of Andong dam

Contents		Andong dam	Alternative 1	Alternative 2	Alternative 3
Concept		Annual regular water supply	Irregular water supply in rainy season (From Jun to August)	Irregular water supply in rainy season (From July to September)	Irregular water supply in rainy season (From June to September)
Reliability(%)		97.2	97.2	97.2	97.2
Annual discharge of downstream flow (m <sup>3</sup> /s)	Total	19.90	19.90	19.90	19.90
	Rainy season	19.90	15.85	15.34	15.66
	Non-rainy season	19.90	21.25	21.42	22.02
Correlation		0.00	0.9992	0.9990	0.9983
Additional amount of water supply in non-rainy season (m <sup>3</sup> /s)		0.00	1.35	1.52	2.12

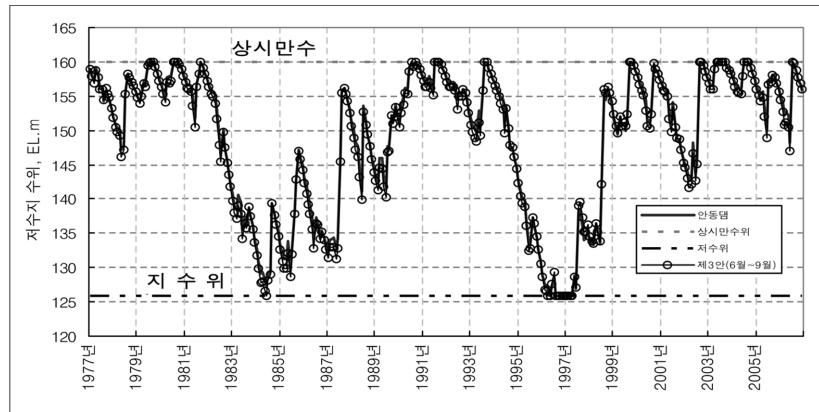


Fig 7. Water level curve of current condition and Alternative 3

서 제시한 H-Q관계식을 적용한 결과 36개년 평균유출량은 364 m<sup>3</sup>/s로 나타났으며, 전년 평균유출량에 비해 비홍수기는 50%이하이고 홍수기는 200%이상 풍부하게 유출되는 특성이 있는 것으로 나타났다.

- (2) 안동댐의 용수공급량은 농업용수 9.5 m<sup>3</sup>/s를 제외한 댐 하류 생공용수 및 하천유지유량은 연간 일정하게 19.9 m<sup>3</sup>/s씩 공급하고 있으며, 실측유입량을 기준으로 저수지 모의 운영한 결과 1977년~2006년까지 360개월 동안 물부족 기간은 10개월간 발생하였고 기간단위 신뢰도는 97.2%로 나타났다.
- (3) 안동댐에서 낙동강 본류로 직접 공급하는 용수공급량 19.9 m<sup>3</sup>/s를 홍수기에는 최소로 공급하고 비 홍수기에 최대로 공급하는 방안을 방안별로 모의 운영한 결과, 비 홍수기 공급량은 기존안동댐이 19.9 m<sup>3</sup>/s에 불과하나, 제1안은 21.25 m<sup>3</sup>/s, 제2안은 21.42 m<sup>3</sup>/s, 제3안은 22.02 m<sup>3</sup>/s씩 공급 가능한 것으로 나타났다.
- (4) 즉, 모든 방안에 대하여 기존 댐과 같이 신뢰도를 97.2%, 댐 하류 연평균공급량을 19.9 m<sup>3</sup>/s로 동일하게 적용함에 따라 저수지 수위는 거의 유사하게 모의되었으며, 비 홍수기 공급량은 안동댐 용수공급능력에 비해 제1안은 1.35 m<sup>3</sup>/s, 제2안은 1.52 m<sup>3</sup>/s, 제3안은 2.12 m<sup>3</sup>/s씩 추가로 용수공급이 가능한 것으로 평가하였다.

본 연구는 안동댐을 대상으로 기존 수자원의 효율적인 용수공급방안을 연구하였으며, 이를 바탕으로 현 시점에서 여타

기존 댐에 대해 효율적인 용수공급방안을 연구함과 동시에 실질적인 농업용수 및 생공용수 공급량 등을 반영하여 현실적이고 효율적인 용수공급증대 방안에 대한 발전적인 연구와 실효성있는 댐운영을 기대한다.

### 참고문헌

- 강민구, 박승우 (2005. 11) 저수지 최적운영모형을 이용한 추가용수공급평가. **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권, 제11호, pp. 937-94.
- 건설교통부, 한국수자원공사 (1997. 12) **낙동강수계 기존댐 용수공급능력조사**.
- 건설교통부 (2006) **수자원장기종합계획보완**.
- 김남원, 신현석, 원유승 (2001, 5) 유역내 댐용수의 가용능력평가 방법. **학술대회논문집**, 한국수 자원학회 2001년도 학술발표회 논문집(1), pp.613-618.
- 박성삼, 이동률, 김형준, 신영호 (2001. 5) 우리나라 다목적댐 용수공급능력평가. **학술대회논문집**, 한국수자원학회 2001년도 학술발표회 논문집(1), pp.533-538.
- 이재용, 권용익, 안태진, 김형수, 윤용남 (2003. 5) 다목적댐 용량 재할당에 의한 용수공급량증대. **학술대회논문집**, 한국수자원학회 2003년도 학술발표회논문집(1), pp.270-273.
- 한국수자원공사 (1994. 12) **HEC-5 모델에 의한 다목적댐 용수공급방안**.
- 한국수자원공사 (2007) **다목적댐 운영실무 편람**.

- ◎ 논문접수일 : 08년 11월 05일
- ◎ 심사의뢰일 : 08년 11월 06일
- ◎ 심사완료일 : 08년 12월 08일