

# 댐시설 관련 기준의 현황 및 고찰

신동훈<sup>1)</sup>, 김우구<sup>2)</sup>, 박한규<sup>3)</sup>

## 1. 서론

우리나라의 댐 건설은 기록상으로 볼 때 삼국사기 신라본기에 수록되어 있는 A.D 330년의 김제 벽골제(높이 5.7m, 길이 330m)가 시초로서 최근의 용담다목적 댐에 이르기까지 약 1,700여년에 걸쳐 이루어져 왔다. 댐의 건설역사가 오랜데 반하여 댐의 설계나 건설기술도 많이 발전한 것은 사실이지만 공학적 개념을 토대로 댐 건설이 이루어지기 시작한 것은 불과 60~70여년 전부터라고 할 수 있으며, 그것도 근대적인 개념의 댐축조 이론과 공법이 개발된 것은 인류가 최초로 달나라에 착륙하던 무렵이던 1960년대부터 본격화되었다. 전세계적으로도 대략 이 때부터 댐의 건설 수도 급격하게 증가하기 시작하여 20세기 말까지 약 45,000개의 댐이 건설되었으며(그림-1) 댐의 용도에 있어서도 관개용수공급, 홍수조절, 수력발전, 생·공업용수 공급 및 다목적댐 기능 등 다양화되었다. 이러한 댐건설 기술의 발전경향과 함께 세계 각국에서는 댐의 설계 및 시공에 대한 기준과 지침 등을 작성하여 댐건설에 활용해오고 있다. 우리나라의 경우에도 1979년 댐시설기준이 제정된 이래로 전국 각지에서의 댐건설 경험을 토대로 1983년과 1993년의 2차례에 걸쳐 수정보완을 해왔다.

최근에는 1993년 이후로 지반공학분야의 기술발전과 함께 환경보전에 대한 국민적 요구 등이 뜨거운 감자로 떠오르면서 안정적이고 경제적인 뿐만 아니라 자연환경을 보존하고 자연과 어울리는 친환경

경적인 댐건설 방안의 수립 등이 필요하게 되었다. 이러한 국민적 요구에 부응하기 위해서는 기존 댐시설기준의 보완 및 개정이 시급히 요청되고 있다.

이에 본 논고에서는 지금까지 우리나라 댐시설기준의 현황을 지반공학 분야를 중심으로 살펴보고 평소 관련업무를 담당해오면서 느낀 사항들을 적어 댐시설기준의 검토시 참고가 될 수 있도록 하고자 한다.

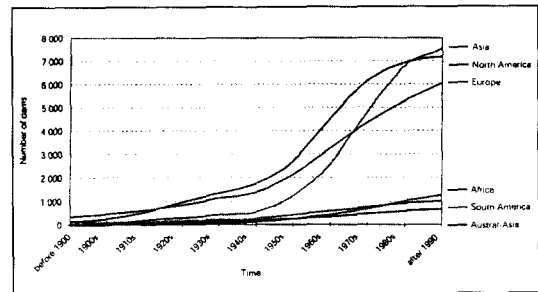


그림 1. 대댐의 건설 동향(1900년~2000년) (중국 제외)

## 2. 우리나라의 댐 현황

수자원사업은 홍수조절, 관개용수, 생활·공업용수, 수력발전, 내륙 주운, 퇴사제어, 관광·리크리에이션, 어류 및 야생동물 보호, 수질개선, 고용증대 및 공공사업 등을 포함하며, 이중 댐 건설 사업은 수자원사업의 중심을 이루고 있다. 우리나라의 댐은 후술하는 바와 같이 관련 법령에 따라 하천법에 따른 하천부속물로서의 다목적댐, 농어촌정비법에 따른 농업생산기반시설로서의 농업용수댐, 전원개발에 관한특례법에 따른 전원설비로서의 수력발전용댐 등

\*1 정회원, 한국수자원공사 수자원연구소 선임연구원

\*2 정회원, 한국수자원공사 수자원연구소 소장

\*3 정회원, 한국수자원공사 수자원연구소 기술협력부장

표 1. 우리나라의 다목적댐 현황

구분	수계명	댐명	형식	유위면적 (km <sup>2</sup> )	제방		상류수량 (백만m <sup>3</sup> )	유하수량 (백만m <sup>3</sup> )	발전시설 용량 (천kW)	공사기간
					높이(m)	길이(m)				
기존 다목적댐	한 강	소양강	RF	2,703	123	530	2,900	1,900	200	'67 ~ '73
	"	충주	CG	6,648	98	447	2,750	1,789	412	'78 ~ '86
	낙동강	안동	RF	1,584	83	612	1,248	1,000	90	'71 ~ '77
	"	남강	RF	2,285	21	975	136	109	12.6	'62 ~ '70
	"	합천	CG	925	96	472	790	560	101.2	'82 ~ '89
	"	임하	RF	1,361	73	515	595	414	50	'84 ~ '92
	금 강	대청	RF	4,134	72	495	1,490	790	90	'75 ~ '81
	섬진강	섬진강	CG&RF	763	64	344	466	370	34.8	'60 ~ '65
	섬진강	주암	CG	1,010	58	330	707	562	22.5	'83 ~ '91
	직소천	부안	CFRD	59	49	280	41.5	35.6	-	'90 ~ '96
	낙동강	하구둑		23,560	19	2,320	50	50	-	'83 ~ '88
건설중인 댐	낙동강	남강보강	CFRD	2,285	34	1,126	309	299.7	14	'87 ~ '98
	금강	용담	CFRD	930	70	478	815	672	26.3	'90 ~ '00
	한강	황성	RF	209	49	205	86.9	73.4	1.4	'90 ~ '00
	밀양강	밀양	CFRD	95	89	535	73.6	69	1.3	'90 ~ '00
	탐진강	탐진	CFRD	193	53	403	183	171	0.55	'95 ~ '02

주) RF : 중심코아형석괴댐, CG : 콘크리트중력식댐, CFRD : 콘크리트표면차수벽형석괴댐,  
CG & RF : 복합댐(콘크리트중력식+중심코아형석괴댐)

으로 구분할 수 있다. 한편, 정부에서는 보다 효율적인 이수 및 치수관리를 위하여 적정한 댐 건설계획을 검토 중에 있다.

### 2.1 다목적댐

우리나라의 다목적댐 개발은 1962년 제1차 경제개발5개년계획의 추진과 함께 시작되어 1967년 다목적댐의 건설사업을 집행하고 관리할 「한국수자원개발공사」(현「한국수자원공사」)가 설립되면서 본격화되었다. 그후 1960년대, 1980년대 및 1990년대를 거치으면서 "국토종합개발계획"과 "수자원장기종합계획" 등의 정부계획에 의거 추진되어온 다목적댐 현황은 표 1과 같다.

### 2.2 용수전용댐

우리나라의 용수전용댐은 농업용수댐과 생·공용수댐으로 구분할 수 있다. 이 중에서 농업용수댐은 한반도에서 벼를 재배하기 시작한 기원전 6세기 경부터 이용되기 시작한 것으로 추정되며, 근대적인 기술로 축조된 것으로는 광복이전의 균일형댐(토언제)에서 중심/경사코아형홍댐, 콘크리트댐 및 표면차수벽형댐 등으로 점차 발전해왔다. 2000년 현재 농업기반공사가 관리중인 댐(제당)의 수는 778개이며, 이중 높이가 30m 이상인 댐은 98개이고, 가장 높은 댐으로서는 전북 임실에 있는 섬진제로서 댐높이 H=64m이다. 생·공용수댐은 각 지방국토관리청과 한국수자원공사에서 건설 및 관리를 해오고 있으며, 1998년에 완공된 보령댐(중심코아형석괴댐)을 비롯

하여 총12개의 댐이 있다.

### 2.3 수력발전용댐

국내의 수력발전용 댐은 총 40여개가 있으며, 한국전력공사 뿐만 아니라 한국수자원공사, 현대건설 및 대동기업과 같은 공/사기업이 소유 및 관리하고 있다. 댐의 형식은 과거에는 콘크리트중력식, 중심/경사코아형석괴댐이 주류를 이루었으나 최근에는 CFRD(예:산청 및 양양 양수발전댐)로 건설되고 있다.

## 3. 우리나라의 댐시설 관련 법령 및 기준 현황

### 3.1 관련 법령

우리나라의 각종 댐시설은 '특정다목적댐법, 수도법, 전원개발에관한특별법 및 농어촌정비법' 등을 근거로 추진되어 왔다. 그러나 최근에는 댐건설에 관한 법체계가 댐의 용도별로 분산되어 있어 한정된 수자원의 효율적 개발·이용을 위한 종합적이고 체계적인 댐건설이 어려운 실정이고, 댐건설로 인하여 댐주변지역에 미치는 각종 환경적, 사회적 불편 등에 대하여 지원이 충분치 못했던 점 등을 개선하며, 댐건설사업이 장기적인 안목에서 종합적이고 체계적으로 시행될 수 있는 기본적인 틀을 마련하고, 원활한 댐건설사업 추진기반조성을 위하여「댐건설및주변지역지원등에관한법률」(약칭 「댐건설지원법」)을 제정하였으며, 다목적댐에만 적용되었던 「특정다목적댐법」은 본 법률에서 흡수·폐지하였다. 표 2와 표 3은 각각 「댐건설지원법」의 적용범위와 기존의 댐 관련 법령을 간략히 정리한 것이다.

표 2. 「댐건설지원법」(2000.3.8부터 시행)의 적용범위

구 분	적 용 범	관련조항
댐건설장기계획	<ul style="list-style-type: none"> <li>●높이 15미터이상인 모든 용도댐</li> <li>- 단, 농업용댐은 높이가 15미터 이상이고, 저수용량이 1천만톤 이상인 댐에 한함</li> </ul>	법 4
댐건설 및 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>●다목적댐, 생·공용수댐</li> <li>- 생·공용수댐은 건교부장관, 시·도지사 및 수공이 건설하는 경우에 한하여 적용</li> <li>- 댐건설에 관한 규정 : 법 시행당시(2000.3.8) 건설중인 생·공용수댐에 대해서는 적용하지 아니함(수공법, 수도법에 의하여 건설)</li> <li>- 댐관리에 관한 규정(건교부장관이 관리, 댐관리규정 제정 등) : 기존 생·공용수댐에 대해서도 적용함</li> </ul>	법 5~14(건설) 법 15~18(관리) 법 부칙 8, 9
댐사용권 설정 및 댐건설비 부담	<ul style="list-style-type: none"> <li>●다목적댐</li> </ul>	법 19~38
댐주변지역 지원 (정비사업·지원사업 시행)	<ul style="list-style-type: none"> <li>●다목적댐, 생·공용수댐</li> <li>- 저수용량 2천만톤 이상 또는 저수면적 2백만㎡이상인 댐에 한하여 시행</li> <li>- 정비사업 : 건설중이거나 건설될 댐에 적용(법 시행당시 준공된 댐에는 불적용)</li> <li>- 지원사업 : 기존 생·공용수댐도 해당</li> </ul>	법 41~42 영36 ①, 40 ① 법 부칙 8, 9
수몰이주민 지원	<ul style="list-style-type: none"> <li>●다목적댐, 생·공용수댐</li> <li>- '97.1.1이후 실시계획이 수립·고시된 댐부터 적용</li> <li>- 따라서, 그 이전의 다목적댐은 특정다목적댐법(제42조, 제42조의2)에 의하여, 생·공용수댐은 수도법(제56조의2)에 의하여 지원해야 함</li> </ul>	법 39, 40 법 부칙7 ②, 9

표 3. 댐 사업 관련법

근거법	주무부서	시행청	댐 등의 정의
하천법	건설교통부	해당기관	'댐'은 기초지반으로부터 제정까지의 높이가 15m이상이거나 총저수용량이 2,000만m <sup>3</sup> 이상인 것을 말하며, 하구언 또는 하구 부근의 해면에서 하천의 유수를 저류하는 공작물을 말한다.
특정다목적댐법 (“댐건설지원법”으로 통합)	건설교통부	한국수자원공사	'다목적댐'이라 함은 건설교통부 장관이 하천법에 의하여 건설하는 댐으로서 그 저수를 발전·수도·공업 또는 농업의 용수, 홍수조절, 기타의 용도(이하 “특정용도”) 중 2개 이상의 특정용도로 이용하는 것을 말하고, 여수로 부댐, 기타 당해 댐과 일체가 되어 그 효용을 보전하는 시설 또는 공작물(특정용도에 전용되는 시설 또는 공작물을 제외)을 포함한다.
농어촌정비법	농림부	농업기반 공사	'농업기반시설'이라 함은 농업생산기반 정비사업으로 설치된 저수지(농어촌용수의 확보를 목적으로 하천, 하천구역 또는 연안구역 등에 물을 저류 또는 관리하기 위한 시설, 홍수면 및 수면부지를 말함), 양수장, 관정 등 지하수리용시설, 배수장, 취입보용, 배수로, 지, 도로, 방조제, 제방 등의 시설물 및 그 부대시설과 농수산물의 생산, 가공, 유통시설 등 영농시설을 말한다.
전원개발에 관한 특례법	통상산업부	한국전력공사	'전원설비'라 함은 발전 및 송변전을 위한 전기사업용 전기설비와 그 부대시설을 말하며, '전기설비'라 함은 발전, 송전, 변전, 배전 또는 전기사업용을 위하여 설치하는 기계, 기구, 댐, 수로, 저수지, 전선로, 보안통신선로, 기타의 설비(특정다목적댐법에 의하여 건설되는 댐 및 저수지, 선박, 차량 또는 항공기에 설치되는 것, 기타 대통령령이 정하는 것을 제외)를 말하며 다음 각목과 같이 구분한다. 가. 전기사업용 전기설비, 나. 일반용전기 설비, 다. 자가용전기설비

### 3.2 관련 기준

#### (1) 국내

국내의 댐건설에 대한 기준으로는 댐시설기준(건설부, 1993), 농지개량사업계획 설계기준:댐편(농수산부, 1982) 등이 있으며, 관련기준으로는 도로교 표준시방서와 콘크리트 표준시방서 등이 있다. 댐시설 기준은 1979년에 제정된 이후 1983년과 1993년의 2차례에 걸쳐 개정된 바 있으며 2000년부터 재개정 작업이 수행되고 있고, 농업용댐의 설계기준은 1968년 제정되어 1982년에 1차례 개정되어 현재까지 사용되어 오고 있다.

#### (2) 국외

일본의 경우에는 다목적댐의 건설(건설성 하천국,

1977), 하천사방기술기준(건설성, 1986), 토지개량 사업설계기준(농림수산성 구조개선국, 1981), 미국의 경우에는 Design of Small Dams(USBR, 1977), Design of Gravity Dams(USBR, 1976), Design of Arch Dams(USBR, 1977), Design Criteria for Dams(ICOLD), Seismicity and Dam Design(ICOLD, 1983) 등이 있다.

### 4. 댐 관련 설계기준의 검토

국내외의 댐 사업관련 설계기준(또는 시설기준)을 요약하여 보면 표 4와 같다. 여기서 '기준'이라 함은 건설기술관리법 제34조의 규정에 의하여 댐의 조사, 계획 및 설계를 실시하는데 필요한 기술적 사항

을 명문화 한 것으로서 기술수준의 향상과 기타 필요에 따라 개정되는 것을 말한다. 대개의 경우 이러한 기준들은 수십년에 걸친 댐시공 실적, 기술의 발전에 따른 대규모 댐의 경제적 설계·시공의 필요성, 다양한 입지조건에 적합한 댐 건설의 필요성 등에 의하여 수차례의 수정보완 및 개정의 절차를 밟아 현재의 형식과 내용을 갖추게 된다. 예를 들면, 미국의 Design of Small Dams는 1938년에 발행된 "Low Dams"를 수정·보완하여 1958년경에 제정된 것으로서 1974년과 1987년에 재개정된 바 있다. 일본의 토지개발사업계획설계기준은 1933년에 제정된 언체설계기준(안) 이후 많은 댐건설 경험을 토대로 콘크리트댐과 필댐에 대하여 1953년, 1957년, 1966년에 개정되었으며, 그 후 계속적인 댐시공 실적의 축적, 법령의 개정, 댐 입지조건에의 제약의 심화 및 수원지 정책의 재정비 등에 따라 1981년에 재개정된 바 있다. 따라서 여기서는 우리나라의 댐시설기준의 내용에 있어서 수정보완이 필요한 사항을 살펴보고 필자의 실무경험과 다른 나라의 관련기준 등을 참고로 몇 가지 생각을 기술함으로써 향후 댐시설기준의 개정 등에 보탬이 되도록 하고자 한다. 혹 필자와는 다른 생각을 갖고 있는 전문기술자들이 있겠으나 필자가 제시한 논점에 대한 심각한 논의는 다른 기회가 있기를 기대해본다.

#### 4.1 용어, 기호, 그림 및 표의 사용에 대하여

고품질의 공사는 유능한 설계자와 시공기술자가 설계기준과 공사시방에 따라 정밀시공을 함으로써 달성된다고 할 수 있다. 따라서 설계기준서는 사용하는 용어 및 기호의 표기나 의미가 정확하고 일관성이 있게 표현되어 설계자나 시공기술자가 의미를 파악하는데 곤란을 겪어서는 안될 것이다. 그림이나 표 역시 정확하게 도시되어 그 내용이 제대로 전달되도록 하여야 할 것이다. 그러나 우리나라의 댐관련기준 등을 살펴보면 동일한 기준서이면서도 '댐터', '댐부지', '댐지점' 등이 혼용되거나, '트렌치(trench)'

를 '표토작기' 등으로 표현되어 있으며, '암석시단, 단층전단시험' 등 무슨 내용인지 전혀 알 수 없는 것들도 다수 있다. 그림이나 표는 대부분 다른 연구자나 기관에서 작성한 것을 인용하는 경우가 많아서인지 우리말 번역이 어설피게 되어 있거나 그림이 불분명하고 오류가 많아 설계시 참고하기가 곤란한 경우가 많다. 설계도표의 경우에는 대부분 원본을 그대로 사용하거나 정밀하게 복사하여 사용하는 것이 바람직하다. 또한 대부분의 기술용어가 그러하듯이 외래어 또는 외국어가 빈번하게 사용되고 있지만 표기법의 일관성이 없어 쉽게 의미를 파악하기 어렵다. 그리고 그림이나 표의 출처를 표시하여 추가적인 자료가 필요한 경우 찾아볼 수 있도록 하는 것이 바람직 할 것이다.

#### 4.2 지질조사 및 시험에 대하여

댐 건설을 위한 지질조사는 ①계획조사, ②기본설계조사, ③실시설계조사 및 ④보완조사 등의 단계별로 이루어지는 것이 일반적이며, 각 단계별로 조사항목, 조사방법 및 조사精度 등을 약간씩 달리하는 것이 합리적이다. 조사항목은 지표지질조사와 지하지질조사(보링, 탄성파탐사, 횡갱 등)가 상호 보완적인 역할을 할 수 있도록 적절히 선정하여 시행하는 것이 바람직하다. 시험은 현장 (원위치) 및 실내 시험이 있고 콘크리트댐의 경우에는 블록전단시험, 암반전단시험 또는 암석삼축시험 등을 실시하여야 하는 것으로 규정하고 있으나 구체적인 시험법이나 사례가 설명되어 있지 않아 국내에서는 실제 적용된 사례가 없는 실정이다. 따라서 실효성 있는 기준이 되기 위해서는 보다 상세한 설명과 함께 사례를 실어주는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

표 4. 각국의 댐설계기준 비교표

-	개정의 요지	서문	
제1편 총칙 : 목적, 내용 및 운용방침	제1장 일반사항 : 기준의 요지와 적용 범위	제1장 계획의 수립 총론	
제2편 댐조사 : 조사계획의 수립, 측량, 기상·수문조사, 하천상황조사, 지형조사, 지질조사, 댐입지조건 조사	제2장 조사 : 조사계획, 조사(기상, 수상조사, 하천상황, 지형조사, 지질조사 및 재료조사 및 입지조건의 조사)	제2장 생태 및 환경의 고려 - 일반적 환경문제, 어류 및 야생동물, 수질, 문화유적, 레크리에이션 등의 고려	
제3편 댐계획 : 총론, 계획입안, 계획홍수의 선정 및 결정, 댐위치와 형식의 결정, 유수전환, 유지 및 운영	제3장 설계 : 댐사이트 및 댐타입의 선정, 댐 및 저수지의 제원, 제체 및 기초의 설계, 필댐, 복합댐, 방류설비 및 취수설비의 설계, 저수지 및 저수지 주변의 검토	제3장 홍수 수문의 연구 - 목적 및 배경, - 기초적인 수리 및 수문 데이터 - 가능최대홍수량 - 강우에 의한 홍수유출량 등	
제4편 여수로와 감세공 : 여수로의 계획 및 설계, 문비, 어도	제4장 시공 : 시공계획 및 시공관리, 시공(시공계획 및 시공관리, 준비공, 시공설비, 기초처리, 콘크리트 및 필댐의 제체	제4장 댐 형식의 선정 - 댐형식의 분류, 댐형식 선정을 지배하는 물리적 인자, 법적, 경제적 및 윤리적 고려	
제5편 필댐 : 총론, 설계 및 시공 - 기초설계, 표준단면의 설계, 축제 재료의 선택, 댐형식의 결정, 침투수에 대한 안정, 안정성검토 - 기초지반처리, 축제공사, 시공관리	제5장 관리 : 담수, 관리(담수과정의 관리, 구조물의 관리, 조작관리)	제5장 기초 및 시공재료 - 조사범위, 데이터의 수집, 정보의 출처, 토질분류, 암분류, 지표탐사, 지구물리탐사법, 샘플링법, 현장 및 실내시험	
제6편 콘크리트 중력댐 : 설계기준, 기본설계, 세부설계, 시공, 품질관리 및 검사	제6장 기타 : 운용사항 농림수산성 구조개선국에서 정하는 바에 의함	제6장 뱀댐 - 설계의 원칙, 기초의 설계, 제체, 세부설계, 설계에	
제7편 아치댐 : 위치조건, 설계조건, 기초처리		제7장 석괴댐 - 기초의 설계, 제체의 설계, 차수벽의 설계	
제8편 콘크리트 표면차수벽형석괴댐 : 총설, 기본적 고려사항, 설계세부사항		제8장 콘크리트 중력식댐 - 콘크리트의 물성, 댐에 작용하는 힘, 기초의 검토, 소요안전을, 응력 및 안정해석	
		제9장 여수로 - 총론, 여수로의 선정, 여수로의 수리학적 고려	
		제10장 방류시설(outlet works) - 기능, 소요용량의 결정, 위치결정, 수리 및 구조적 설계	
		제11장 유수전환 - 유수전환방법, 특별시방	
		제12장 운영 및 유지 - 검사 및 유지 - 운영	
		제13장 댐 안전 - 원칙과 개념 - 주기적 댐 안전도 평가 - 댐안전도의 보완	
		부록 : 각종 기술자료	

표 5. 댐 형식별 설계시의 안정성 검토항목과 방법

구분	검토항목	검토방법	평가
필댐	① 사면파괴(sliding)에 대한 안정성	사면안정해석(원호활동면법)	안전율
	② 침투에 대한 안정성	침투류해석, Justin의 한계유속 검토, 한계동수경사 검토	허용침투수량 및 안전율
중력식 콘크리트댐	① 압축에 대한 안정성	기초지반의 내하력 검토	허용범위
	② 활동에 대한 안정성	D. C. Henny식에 의한 전단마찰저항력 검토	안전율
	③ 전도에 대한 안정성	모든 작용력의 합력의 작용위치 검토	안전율
	④ 제체에 발생하는 압축 및 인장응력에 대한 안정성	유한요소법, 하중분할법, 탄성이론해석법 등	허용응력
아치댐	① 제체의 안정성	각 부분에 대하여 응력을 검토	허용응력
	② 양안부의 안정성	양안부에 대하여 제체, 지지구조물 및 암반을 포함한 응력해석	허용응력
CFRD	① 사면파괴에 대한 안정성	원칙적으로 불인정. 단, 필요시 사면안정해석(원호활동면법).	안전율
	② 지진시의 사면파괴에 대한 안정성	Newmark법	안전율
	③ 침투에 대한 안정성	불고려	-

### 4.3 안정성 검토방법에 대하여

댐 형식별 설계시의 안정성 검토항목과 방법을 요약하면 표-5와 같다. 이 중에서 지반공학분야에서 다루고 있는 필댐과 CFRD의 안정성 검토방법에 대하여 중점적으로 살펴보고자 한다.

#### 4.3.1 필댐의 안정성 검토방법

현행 댐시설기준의 경우 제체의 사면파괴에 대한 안정성 검토방법으로 원호활동면법(필요시 복합활동면법)을 원칙으로 규정하면서 허용안전율값을 제시하고 있다. 그러나 제체의 안전상 중요한 조건인 상시만수위시의 허용안전율값을 제시하고 있지 않아 설계자의 주관적 판단에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 이 경우 상당히 큰 수압이 제체에 작용하지만 상시만수위가 유지되는 기간이 상대적으로 짧다는 점, 지금까지의 댐축조 및 관리의 경험 등을 고려할 때 1.3 이상으로 하여도 무방할 것으로 사료된다. 그리고, 사면파괴 가능성에 대한 검토시

사용되는 축조재료의 강도정수(점착력 및 내부마찰각)의 산정에 있어서 "가능한한 3축압축시험으로 하는 것이 좋다"고 하고 있으나 댐축조재료의 대부분이 입경이 크다는 점과 제체의 안정성을 좌우하는 것이 주로 암석재료라고 하는 점 등을 고려할 때 암석재료에 대해서는 직경 300mm, 높이 600mm이상의 공시체를 사용하는 대형삼축시험결과를 사용하도록 규정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 축조재료에 대한 정확한 강도정수의 산정은 정밀한 댐단면 설계가 가능하게 되어 공사비를 절감할 수 있기 때문이다.

한편, 침투수에 대한 안정성 검토에 있어서는 허용침투수량(또는 허용누수량) 기준에 대한 규정이 명확하지 않아 댐 완공후 유지관리에 많은 애로사항이 발생하고 있다. 따라서 각 댐형식별로 허용침투수량을 어떻게 설정할 것인지에 대한 집중적인 연구가 필요한 것으로 사료된다. 즉, 제체의 하류에서 측정되는 침투수는 제체내의 불투수부(점토심벽)을 통한 침투수량, 기초암반 및 양안부의 산지 등을 통한 침투수, 지표수 등의 합으로 볼 수 있으므로 각각의

수량을 분리하여 계산할 수 있는 이론식 및 측정 시스템의 개발이 시급히 요청된다고 하겠다. 최근 이와 관련한 연구성과와 적용 예가 발표되고 있으므로 참고하여 적용할 수 있을 것이다.

### 4.3.2 CFRD의 안정성 검토방법

현행 댐시설기준에서는 CFRD의 경우 주로 암석 재료로 축조되는 암석의 강도정수는 내부마찰각(점착력은 무시)의 함수로 표시되며, 이때 축조된 암석의 내부마찰각은 자연안식각 보다 크므로 기존의 필댐에서 발생하는 원호활동파괴와 같은 사면파괴는 일어날 수 없으며, 따라서 종래의 사면안정해석법을 적용하는 것은 불가능하다고 규정하고 있다. 또한 지진시의 사면안전성은 비점착성이고 자유배수가 되는 재료로 구성된 사면이 지진에 의해 평면파괴 된다고 할 때의 안정해석방법인 Newmark(1965)의 방법과 무한사면안정해석법을 제시하고 있다. 즉, CFRD의 경우에는 아직까지 정립된 안정성 평가방법이 없다고 할 수 있다. 그러나 실무적인 관점에서 볼 때는 상시 및 지진시를 불문하고 기존의 사면안정해석방법을 그대로 적용한다고 해도 무방할 것으로 사료되며, 필요시에는 여러 가지 방법으로 검토하여 체체의 안전성을 확인하는 것이 바람직할 것이다.

한편, CFRD는 상류사면에 콘크리트 차수벽이 있어 원리상으로는 체체 내부가 완전히 건조상태(또는 습윤상태)로서 하류사면 끝에서 측정되는 침투수량은 모두 기초암반, 양안부 또는 지표수 등이 유입된 것으로 볼 수 있다. 그러나 실질적으로는 기초암반 역시 커튼그라우팅 등에 의하여 거의 불투수층에 가까움에도 불구하고 저수위 변동에 따라서 침투수량이 증감되는 경향을 나타내고 있어 실제 침투수의 흐름경로가 어떻게 되는지 파악이 어려운 실정이다. 따라서 CFRD의 경우 허용침투수량에 대한 규정이 곤란한 것으로 보인다. 그러나 국내외의 사례 등을 수집하여 면밀히 분석할 경우에는 실용적인 허용범위

등을 제시할 수 있을 것으로 사료된다.

### 4.4 내진설계에 대하여

댐의 경우에는 지금까지 지진하중을 정적하중으로 환산하여 적용하는 진도법에 의한 내진설계를 해왔으나 1995년의 고베지진 이후 지진에 의한 피해의 우려로 인하여 보다 정밀한 설계방법이 요구되어 왔다. 실제로 건교부 및 과학기술부 등의 정부의 지원으로 학·연·산학 합동으로 동적해석법에 의한 내진설계법의 개발노력이 이루어지고 있다.

한편, 약 5천여명의 인명피해와 천문학적 재산피해를 냈던 고베지진시에도 댐이 붕괴되는 등의 치명적인 피해는 발생되지 않았으며, 일본의 전문가들로 구성된 댐의 내진성능평가위원회에 의한 각종 댐의 내진성능평가의 결론은 진도법에 의한 댐 설계가 타당하다는 결론을 내린 바 있다. 따라서 일본과 달리 상대적으로 지진발생 규모와 빈도가 적은 우리나라의 경우에도 진도법에 의한 내진설계는 타당하다고 할 수 있다. 다만, 지진시의 댐 거동관측 및 수치해석 결과에 따르면 댐천단부의 응답가속도는 기초부분의 가속도보다 약 2배 이상 증폭되는 것으로 나타났다. 댐의 이러한 증폭거동은 댐의 전 높이에 걸쳐 일정한 체체진도를 적용하는 기존의 진도법의 개념과 일치하지 않는다. 일본에서는 1991년 기존의 진도법을 수정하여 체체의 응답가속도가 증폭되는 특성을 고려할 수 있는 수정진도법으로 내진설계기준을 변경하여 적용하여 오고 있다. 수정진도법은 관측결과와 동적해석결과를 토대로 진도법을 개정하여 만들어진 것으로서 이론적 근거가 명확하며, 실무자들이 이해하기 쉽고 계산이 용이하여 사용성이 뛰어나다는 장점이 있다. 이에 반하여 동적해석법은 입력파라메타(예를 들면 댐재료의 전단변형률~전단탄성계수와 감쇠정수의 관계)를 구하기 어렵고, 해석이론이 실무자들이 이해하기 어려우며 복잡한 프로그램을 사용하여야 하므로 해석에 상당한 시간과 노력이 소요되는 등 실무적으로 적용하는데는 상당



히 어렵다는 점이 문제로 지적되고 있다.

따라서 설계와 향후 유지관리를 정확하면서도 신속하게 댐의 안정성을 평가하는 방법으로는 지진시 댐의 거동을 비교적 유사하게 모의하고 지금까지 그 안전성이 증명되어 온 수정진도법에 의한 내진설계법의 채택이 바람직 할 것으로 사료된다. 단, 정밀한 안전도 평가 등을 위해서는 동적해석 결과 등을 참조로 하는 것이 필요할 것이다.

#### 4.5 댐 거동의 계측에 대하여

댐 거동의 계측은 댐의 항구적인 안정성 확보와 댐의 설계 및 시공에 관한 중요한 정보를 제공해주는 것으로서 댐 공사에 있어서 필수적인 요소라 할 수 있다. 대개의 경우 시공 중, 담수시 또는 유지관리에 대하여 침투수량, 제체의 변형, 간극수압 및 토압 등을 측정하여 분석함으로써 댐의 거동 또는 댐의 안전도를 평가한다. 그러나 현행 댐시설기준의 경우에는 부분적으로 측정기기의 설치 및 계측에 대한 규정을 언급하고 있으나 콘크리트댐과 CFRD에 대한 것만 언급되어 있고 내용에 있어서도 거의 선언적인 수준에 머물러 있는 실정이다. 물론 얼마 전까지도 우리나라의 경우에 댐 거동의 계측을 위한 계측기의 설치와 계측, 계측결과의 분석 등에 대한 기술이 확립되어 있지 않았는데 그 이유를 찾을 수 있겠으나 최근에 완공되었거나 건설중에 있는 댐에는 비교적 많은 종류의 계측이 이루어지고 있고, 이 분야에 대한 연구도 진행중에 있으므로 기존의 규정을 수정보완할 수 있는 준비는 충분히 갖추어져 있다고 사료된다.

댐 거동의 계측을 위한 계측기기의 설치 및 운영 관리를 하는데 있어서는 다음과 같은 사항에 착안하여 정리하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

- 댐의 관리기간을 어떻게 구분할 것인가? (예 : 시공중, 담수시, 운영중, 비상시(지진시 또는 홍수시))

- 측정항목과 측정빈도는 어떻게 설정할 것인가?
- 댐 형식별로 필요한 측정기기의 종류, 수량 및 설치방법 등은 어떻게 할 것인가?
- 측정값의 분석은 어떻게 할 것인가? 측정값의 신뢰도는 어떻게 평가할 것인가?
- 측정기기의 노후화 및 고장 등에 대한 대책은 무엇인가?
- 측정자동화 방안은 무엇인가?

### 5. 결론 및 제언

우리나라 댐시설 관련 기준의 현황을 지반공학 분야를 중심으로 살펴보고 평소 이 분야에 몸담아오면서 필요하다고 생각되는 사항들을 적어보았다. 마지막으로 본문에서 다루지 않은 것으로서 수정 또는 추가하여 보완할 필요가 있는 사항들을 몇 가지 제시하고자 하며, 본 논고에서 미처 다루지 못한 내용들에 대해서는 댐 건설분야의 제 기술자들이 함께 고민하여 해결하여 나아가기를 기대해본다.

- (1) 21세기를 맞이한 지금 세계의 기술은 광속도로 발전되고 있으며 그중 자연환경(또는 지구환경)을 보존하고 자연과 어울리는 기술의 개발은 전 인류의 과제로 급부상하고 있다. 댐과 같이 대규모 인공구조물의 건설에 있어서도 예외는 아니어서 친환경적 댐 건설기술의 개발이 절실히 요청되고 있다. 따라서 친환경적 댐건설 즉, "환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(Environmentally Sound & Sustainable Development)" 개념에 바탕을 둔 댐건설을 위한 환경영향평가 방법, 설계 및 시공방법 등에 대한 기준제시가 필요하다.
- (2) 롤러다짐 콘크리트댐(Roller Compacted Concrete Dam : RCC댐)은 중력식 콘크리트댐의 장점을 살리면서 필댐의 단점을 보완하여 건설기간의 단축을 통한 경제성의 확보.

댐 지점의 지형, 지질 등의 다양한 조건변화에도 대응이 가능한 형식의 댐이다. 외국의 경우 많은 시공사례가 있는 신공법으로서 이에 대한 설계 및 시공기준의 정립이 필요하다.

- (3) 댐의 내진성능에 대한 관심이 고조되고 있는 점을 감안할 때 댐 형식별로 흩어져 있는 내진설계에 대한 내용은 전체적으로 한데 모아 기술하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 단, 이 경우 최근 건교부에서 추진하고 있는 각종 토목구조물의 내진설계기준(상위기준)을 참고로 하되 댐의 설계시 일반기술자가 이해하기 쉬우면서도 이론적으로나 실제 거동에 있어서 안정성이 증명된 설계방법을 채택하는 것이 바람직할 것이다. 또한 각 댐에 대한 지진시의 응답계측시스템에 대한 설치 및 관측 결과의 분석방법 등에 대한 기준제시가 필요하다.
- (4) 기타사항으로서 각종 댐형식별로 품질관리 방법 및 품질관리기준 등에 대한 내용은 보다 상세히 할 필요가 있다고 판단되며, CFRD의 페이스 슬라브에 발생하는 균열저감대책에 대해서는 국내외의 설계 및 시공사례가 많이 있으므로 기준서에 그 내용을 수록하는 것도 바람직하리라 사료된다.

### 참고문헌

1. 건설부(1993), 댐시설기준.
2. 농어촌진흥공사, 농공기술50년사.
3. 윤용남, 김영환(1997), "제16장 수자원 조직 및 법령제도", 한국의 수자원개발30년, 한국수자원학회 창립30주년기념특집, 한국수자원공사, pp.451~472.
4. 이희승, 이환기(1997), "제5장 다목적댐", 한국의 수자원개발30년, 한국수자원학회 창립30주년기념특집, 한국수자원공사, pp.97~138.
5. 최형식(1994), "안전한 砂礫댐의 최근 설계경향(3)", 토목학회지, 제42권 제3호, pp.40~52.
6. 한국건설기술연구원(1988), 댐設計基準에 대한 比較檢討.
7. 한국수자원학회(2000), 댐설계기준(안).
8. Newmark, N.M.(1965), "Effects of Earthquakes on Dams and Embankments", The Fifth Rankine Lecture, Geotechnique, Vol.15, No.2, pp.139~159.
9. USBR(1987), Design of Small Dams.
10. World Commission on Dams(2000), Dams and Development : A New Framework for Decision-Making, Earthscan Publications Ltd.
11. 農林水産省構造改善局(1981), 土地改良事業計劃設計基準(設計タム).

### 회비 납부 안내

학회 사무국에서는 연중 수시로 학회비를 수납하고 있사오니 회원여러분의 적극적인 협조를 부탁드립니다. 문의사항이 있으면 사무국으로 연락하여 주시기 바랍니다.

#### ① 은행 무통장(타행) 입금

- ◆ 한국주택은행
- ◆ 계좌번호: 534637-95-100979
- ◆ 예 금 주: 한국지반공학회

\* 입금시 보내시는 분의 성명, 회원번호, 송금명세를 기입해서 납부하시기 바랍니다.