

- 01. 기후변화 및 노후화에 대비한 기존댐 안전성 강화
- 02. 재해환경 변화에 따른 노후 저수지(Fill Dam) 안전관리
- 03. 노후 댐의 내진 성능평가
- 04. 용수댐 안정성 강화를 위한 비상방류능력 확보방안

### 5. 맺음말

약 25만 명 이상의 사망자가 발생하여 사상 최악의 사고로 꼽히는 1975년의 중국 반취아오댐 붕괴사례에서 보듯, 댐은 그 특성상 일단 사고가 나면 국가재난 수준에 이르게 된다. 댐은 결코 무너져서는 안 되며, 안전 확보는 아무리 강조해도 지나치지 않다. 당장을 걱정할 필요는 없지만, 긴 안목의 준비를 소홀히 해서는 안 될 것이다. 더욱 '안전한 댐'을 만들기 위해서는 시설물 노후화 및 기후변화에 대응하는 선제적 안전성 강화와 예방적인 댐 안전관리가 무엇보다 필요할 것이다.



## 재해환경 변화에 따른 노후 저수지(Fill Dam) 안전관리

최병한 공학박사 : 한국농어촌공사 농어촌연구원 구조지반연구

02

최근의 기후변동성증대, 내륙의 빈번한 지진의 발생 등 한반도 재해환경의 변화와 맞물려, 공법과 기준의 부재시 축조된 대다수 국내 저수지(Fill Dam)의 60년 이상 노후화는, 이제 기존의 재해예방 및 복구기술의 한계를 드러내는 요인이 되고 있다. 이러한 재해환경변화와 시설의 노후화에 따라 저수지 안전을 위한 새로운 재해예방, 대응 및 관리 기술 도입의 중요성이 날로 부각되고 있다.

또한, 한정된 국가예산의 효율적 집행을 위한 국가 차원에서의 수자원 전망 및 수자원 관리의 전략수립의 중요성이 대두되고 있는 실정과 더불어, 경제, 사회적 여건의 빠른 변화로 인해 댐 저수지 등 수원공 인근 생태계, 인간 주거환경, 인간보건 등에 관한 영향이 커질 것으로 전망하고 있다.

이에 본 기고에서는 국내 17,000여개 저수지 중 과반을 상회하는 노후화된 저수지에 관한 최근 안전관리의 기술의 동향과 보강공법을 소개하고, 관련 정책으로, 기능상실, 용도폐기에 관한 관련 기관의 동향을 기술하고자 한다.

### 1. 국내 노후저수지(Fill Dam) 붕괴 및 안전관리 현황

구 분	합 계		30년 미만 ('84년 이후)		30년 이상('64~'83년)					
					계		30~50년 ('64~'83년)		50년 이상 ('63년 이전)	
	개소	%	개소	%	개소	%	개소	%	개소	%
계	17,427	100	743	4.3	16,684	95.4	4,346	24.9	12,338	70.8
KRC	3,377	19.4	410	2.4	2,967	17.0	647	3.7	2,320	13.3
지자체	14,050	80.6	333	1.9	13,652	78.4	3,699	21.2	10,018	57.5

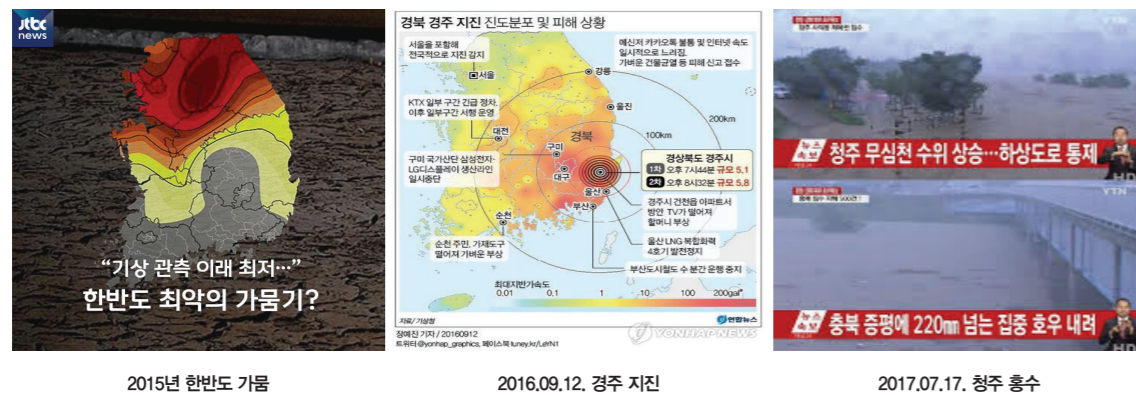
경과년수별 저수지(댐) 현황

- 01. 기후변화 및 노후화에 대비한 기존담 안전성 강화
- 02. 재해환경 변화에 따른 노후 저수지(Fill Dam) 안전관리
- 03. 노후 담의 내진 성능평가
- 04. 용수담 안전성 강화를 위한 비상방류능력 확보방안

지역	저수지명(위치) 준공년도/규모	피해일시	형식	피해유형	피해 인과관계
경북	산대 저수지 (경주.안강.산대) 1964년/24.6만m <sup>3</sup>	2013년 4월12일 14:00	Earth (상류보호)	• 복통 주변 파이핑,제당 붕괴 • 상류 보호공 유실 • 하류 침수 (농경지, 상가, 주택, 자동차 등)	• 복통 접속부 결함 • 누적강우 155mm • 파이핑
	화장 저수지 (청송.부남.화장) 1983년/346만m <sup>3</sup>	2014년 3월29일 14:40	필댐	• 제정함몰 • 폭 1m, 길이 3m, 깊이 4m	• 다짐 불량 • 누적강우 43mm • 싱크홀
전북	조산 저수지 (고창.고수.상평) 1956년/449만m <sup>3</sup>	2013년 7월5일 14:00	필댐 (Zone 형)	• 여수토 옹벽 날개벽 유실 • 하류 농경지 피해	• 누적강우 290mm • 세굴
	지소 저수지 (장수.계북.양악) 1940년/328만m <sup>3</sup>	2013년 7월7일 19:00	필댐 (Zone 형)	• 하류사면 사석 유실 • 여수토 옹벽 유실	• 누적강우 334mm • 사면붕괴
경기	대관리 저수지 (이천.부발.대관) 1957년/5.3만m <sup>3</sup>	2013년 7월22일 10:30	필댐	• 우안측 하류사면 제체 손상 • 하류 농경지 퇴사 피해	• 집중호우200mm • 월류
	옥촌 저수지 (여주.대신.옥촌) 1945년/8.3만m <sup>3</sup>	2013년 7월22일 10:30	필댐	• 제체 완전 유실 • 저수지 인접 제방 월류에 의한 농경지 피해	• 최대시우량 • 82mm • 사면붕괴

최근 국내 저수지 피해 사례

집중호우, 태풍, 가뭄 등의 최근 기후변화는 이제 더 이상 특이사항이 아닌 일상이 되어 가고 있으며, 그로 인한 기후 변동성의 증가는 전통적인 시설물의 안전여유를 고려한 시공 및 유지관리 기준을 이제 넘어서고 있다. 또한 내륙에 발생하는 지진의 규모와 회수의 증가 역시 대표적인 한반도 재해환경의 대표적 변화이다.



그러나, 이런 급변하는 한반도 재해환경에 대응하는 안전성 평가와 대응기술은 여전히 삼풍백화점 사고와 성수대교 붕괴 후 마련된 진부한 평가기술과 대응기술에 머물고 있다.

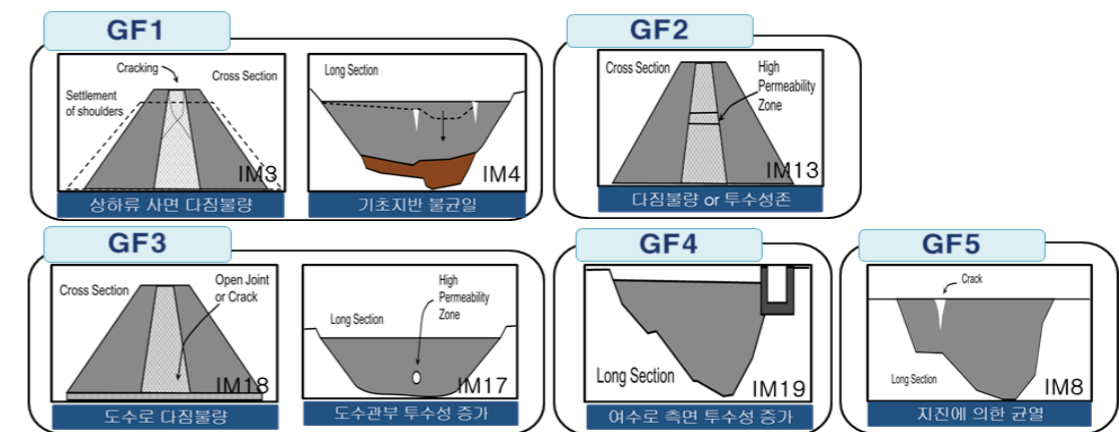
현장조사시 상태 중심의 상태평가와 이를 토대로 단편적 정보에 기반한 안전성평가로 토목공사 위주의 복구공사로 연계되는 현행 평가기술과 대응기술은 실질적이며, 잠재적인 위험도 파악과 예상되는 피해규모를 예측하기 어렵고, 이에 따른 올바르고 합리적이며, 객관적인 대책마련도 불가능하다.

여기에 더해, 대표적인 농업기반시설인 국내 저수지 대다수는 일제강점기에 항구적인 사용이 아닌 단기적 농업생산 물의 착취에 급급한 나머지 시공불량과 60여 년 동안 진행해온 노후화가 중첩되어 시설물 자체의 불안정이 날로 가중되고 있다.

국내 저수지 대표적 노후화로 인한 붕괴메커니즘으로는 노후된 흙댐의, 재료적 구조적 취약성에 따른 월류에 의한 붕괴, 내부침식의 확대에 의한 붕괴를 들 수 있다.

농업용 저수지의 경우 일 년 중, 용수공급 및 국부적인 폭우 등으로 인해 급격한 수차례 잦은 수위변화와, 혹독한 가뭄에 따른 내부 유로의 확대 등의 요인은 시설물 자체의 노후화로 인한 상하류 사면의 불안전성, 내부침식과 더불어 시설물 취약성을 악화시키고 있다.

파괴 시나리오	구분	파괴 모드	하중 조건
1	침하	제체 침하에 의한 균열로 발생하는 파괴	홍수하중
2	재료불량	제체 내부 재료불량에 의한 누수로 발생하는 파괴	홍수하중
3	복통	복통 주변 혹은 결함에 의해 발생하는 파괴	홍수하중
4	여수로	여수로 주변의 침하 및 다짐불량으로 발생하는 파괴	홍수하중
5	지진	지진에 의해 발생하는 파괴	지진하중



국내 저수지 붕괴 메커니즘(농어촌연구원 2015~2018)

- 01. 기후변화 및 노후화에 대비한 기존댐 안전성 강화
- 02. 재해환경 변화에 따른 노후 저수지(Fill Dam) 안전관리
- 03. 노후 댐의 내진 성능평가
- 04. 용수댐 안정성 강화를 위한 비상방류능력 확보방안

또한 노후화와 더불어, 시설물의 취약성을 가중시키는 요인으로서, 제체 내부 코아(점토 등)가 없이 균일형 제체와 토우드레인 부재 등 일제 강점기 시공시 불완전 시공등을 들 수 있다.

실제 붕괴사례기반의 국내 노후저수지의 취약부 붕괴시나리오로는, 월류에 의한 제체 붕괴, 홍수위를 넘지 않음에도 불구하고 여수로의 국부적인 파손으로 인한 여수로 용벽 월류에 의한 인접 제체의 침식, 취수터널(복통)과 기초부 유로 형성 및 누수 확대에 의한 내부 침식, 이밖에 콘크리트 구조물과 흙댐 제체 접촉부의 재료 물성치 이질성과 다짐 등 시공 불량에 따른 유로 형성과 확대에 의한 누수, 등을 들 수 있다.

이상에서 기술한 바와 같이 가뭄, 태풍 등 기후변동성의 확대와 빈번한 지진의 발생 등 외적 재해환경의 변화와, 불완전 시공된 노후 저수지가 갖는 시설물의 취약성을 제대로 인식하고, 기존의 단순 계측만을 위한 재해 예측기술, 여유고 개념의 결정론적 평가기법, 토목공사 위주의 복구기술, 실질적인 피해최소화를 유도하지 못하는 긴급대응기술 등 기존 전통적인 안전관리기술이 더 이상 국가의 국민을 위한 최우선 과제인 인명 및 재산피해 최소화 역할을 뒷받침 하지 못함을 인정해야한다.

## 2. 노후저수지(Fill Dam) 비구조적, 구조적 안전관리

최근 해외 방재 선진국의 경우, 명확하고 객관적인 자료 기반의 재해도와 시설물의 취약도를 고려한 재해예측, 대응, 적응, 관리 등의 사회기반시설 안전관리를 하고 있다.

현재 국내 한정된 국가예산은 수많은 노후저수지의 붕괴 등 재해를 예방할 수 있는 토목공사위주의 구조적 예방, 복구사업을 수행할 여지가 없다.

그러나, 국내 산재된 저수지의 정비와 한걸음 더 나아가 재개발을 통한 지역 사업발전과 주민 거주 환경 개선 등과 연계성을 생각하면, 여전히 노후저수지는 지역발전과 수자원의 부가가치 향상을 꾀할 수 있는 소중한 사회기반시설이다.

이에 최근 국내 관련 연구 및 신기술 개발 내용을 살펴보면, 국내 저수지의 외적 내적 환경을 직시하고 한정된 국가예산의 효율적 집행을 위하여, 최근 Industry 4.0 차세대 융합기술을 토대로, 새로운 재해예방예측기술, 대응기술, 기능회복, 통합관리기술개발을 목표로 진행되고 있다.

- 노후저수지 붕괴 예측 및 피해저감 기술 : 재해환경 변화에 따른 객관적 과학적 정확도 높은 계측, 노후 위험저수지의 잠재적 위험 인지 및 피해저감기술 등 비구조적 예측 예방기술 개발

- 월류, 누수 대응 센싱기반 붕괴예측 및 피해저감 기술
- UAV, GIS 기술 기반의 붕괴시 하류부 피해저감 유도 기술 등.

- 국내 노후저수지에 특화된 붕괴 예방 및 대응기술 : 예산 및 구조, 환경을 고려한 특화된 재료 및 공법 선정을 통한 구조적 붕괴 방지, 대응 및 적응 기술 개발

- 굴착과 동시에 중심차수벽(코아) 설치를 위한 지중차수벽공법 개발
- 사이편을 이용한 홍수 배제능력향상 기술 개발
- 월류시 제체 붕괴봉지를 위한 하류사면 보호공 개발
- 지진시 센싱기반 긴급 안전성 평가기술 개발
- 객관적, 합리적 현장 대응 유도를 위한 현장대응메뉴얼 개선 등.

- 재해 통합관리 기술 : 재해복합성, 노후도 등이 고려된 실질적 위험도 저감을 위한 재해관리 대책마련 지원 가능 기술 개발

• 정량적 안전성 평가, 투자우선순위 결정지원, 신속한 기능회복을 위한 3R(Risk, Reliability, Resilience) 기반 재해 통합관리 기술개발

• 노후 위험저수지 개보수, 재개발을 위한 선순환, Co-Benefit 의사결정지원(DSS) 기술개발 등.

이상에서 소개한 최근 연구 및 기술개발 내용 중 대표적 비구조적, 구조적 안전관리 기술로서,

- 월류, 누수 대응 센싱기반 붕괴예측 및 피해저감 기술과,
- 굴착과 동시에 중심차수벽(코아) 설치를 위한 지중차수벽공법을 간략히 소개하면 다음과 같다.
- 월류, 누수 대응 센싱기반 붕괴예측 및 피해저감 기술

이는 노후 저수지 붕괴 전조와 직결된 첨단 센싱 기술개발과 활용, 센서간 복합위험도 평가를 통한 의사결정 지원 관제 시스템 개발 및 최종 예경보 서비스화로 피해최소화를 유도할 수 있는 기술이다.



노후 저수지 센서 설치, 누수 Spot 탐지



농어촌연구원 붕괴예방 통합관제 시스템

- 01. 기후변화 및 노후화에 대비한 기존댐 안전성 강화
- 02. 재해환경 변화에 따른 노후 저수지(Fill Dam) 안전관리
- 03. 노후 댐의 내진 성능평가
- 04. 용수댐 안전성 강화를 위한 비상방류능력 확보방안

- 굴착과 동시에 중심차수벽(코아) 설치를 위한 지중차수벽공법  
 이는 불완전 시공 및 노후된 중소규모 저수지, 하천 제방에 대해 차수와 안정성을 동시에 확보하기 위하여 굴착 장 비와 미리 준비된 배합재료를 연속 타설하여 차수성 연속 벽체를 댐 중심에 만드는 공법이다.
- 노후 위험저수지 개보수, 재개발을 위한 선순환, Co-Benefit 의사결정지원(DSS) 기술개발 등.  
 이상에서 소개한 최근 연구 및 기술개발 내용 중 대표적 비구조적, 구조적 안전관리 기술로서,
- 월류, 누수 대응 센싱기반 붕괴예측 및 피해저감 기술과,
- 굴착과 동시에 중심차수벽(코아) 설치를 위한 지중차수벽공법을 간략히 소개하면 다음과 같다.
- 월류, 누수 대응 센싱기반 붕괴예측 및 피해저감 기술  
 이는 노후 저수지 붕괴 전조와 직결된 첨단 센싱 기술개발과 활용, 센서간 복합위험도 평가를 통한 의사결정 지원 관제 시스템 개발 및 최종 예경보 서비스화로 피해최소화를 유도할 수 있는 기술이다.



지중차수벽공법



벤토나이트 혼합 믹서기 설치



롱보 (L=23M) 굴착전경



CB 주입 (호스펌프 이용)



굴착 및 주입 전경 (연속작업)



복통 인접부 주입 전경



캐핑 타설 전경



차수벽 최종설치 전경



제체 복토 후 측량 확인작업

경기도 어은 저수지 지중차수벽 공법 적용

- 01. 기후변화 및 노후화에 대비한 기존댐 안전성 강화
- 02. 재해환경 변화에 따른 노후 저수지(Fill Dam) 안전관리
- 03. 노후 댐의 내진 성능평가
- 04. 용수댐 안정성 강화를 위한 비상방류능력 확보방안

### 3. 국내 노후저수지(Fill Dam) 안전관리 사업 및 기능상실, 용도폐기, 재개발 사업

국내 저수지·댐관리자는 관할 저수지·댐의 안전관리를 위하여「시설물의 안전관리에 관한 특별법」및「농어촌정비법」등 관련 법령에 따라 안전점검 실시하고 있으며,

안전점검 실시결과 재난의 예방과 안전성 확보를 위해 필요할 경우「시설물의 안전관리에 관한 특별법」제7조 및「농어촌정비법」제18조 등 관련 법령에 따라 정밀안전진단 실시하고 있다.

또한, 시장·군수·구청장은 정밀안전진단 결과 D등급(미흡) 또는 E등급(불량) 판정을 받은 저수지·댐에 대해 관리자와 사전협의를 거쳐 재해위험 저수지·댐으로 지정·고시할 수 있으며, 나아가, 저수지·댐이 본래의 목적과 기능을 상실하여 재해예방을 위하여 다른 용도로 전환 등의 조치가 필요한 경우와 위험저수지·댐 정비 사업이 시급하다고 판단되는 경우 정비기본계획을 수립하여 행정안전부장관의 승인을 받아 위험저수지·댐 정비지구로 지정·고시 할 수 있다.

2017년 현재 358개의 재해위험 저수지(댐)가 지정되어 있으며 "재해위험저수지·댐 관리 지침"을 제정하여 운영·관리하고 있다.

그리고, 최근 부처별 노후저수지 안전과 활용에 관한 화두는 역시 기능상실, 용도폐기, 재개발이다. 그 배경으로는 도시화와 산업화로 인한 농경지의 개발로 수리답면적이 감소하고 이에 따라 농업용저수지에 의한 수혜면적이 급격히 줄어들어 기능이 저하되거나 상실된 저수지의 증가를 들 수 있다.

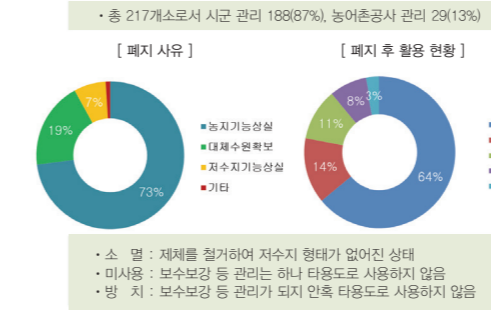
농업용수 공급기능이 저하되거나 상실되었으나 폐지되지 않고 저수지 안전관리 및 환경오염방지를 위한 유지관리 비용은 매년 지속적으로 투입되고 있으며 이미 시설이 폐지된 저수지의 경우에도 토지의 매각 또는 관리청 인계까지 관리주체, 예산투입의 법적근거가 미비하여 실질적이고 효율적인 관리가 이루어지지 못하고 있는 상태이다.

구체적인 기능상실 및 저활용 저수지의 현황으로, 한국농어촌공사 관리(3,379개소)와 지자체관리(14,022개소) 농업용저수지에 대한 지역별, 경과년수별, 개보수사업 추진현황을 파악한 결과, 대부분 개발지구 편입 등 수혜면적 감소에 따라 2010년 이후 매년 약 49개소의 농업용저수지가 폐지되고 있다.

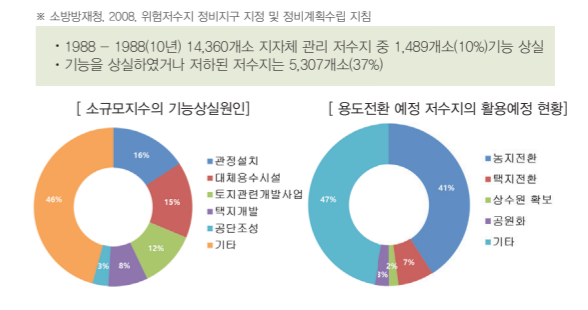
지자체 관리 기능상실 및 저활용 저수지는 전체 저수지 14,022 개소 중 691개소인 것으로 '15년 행정조사 결과 조사되었고, 이중 기능상실 또는 사업에 편입되어 폐지대상인 곳은 353개소로 분류되었으나 사업편입을 제외하고는 매각에 대한 수요는 없으며 사유지가 포함된 경우 소유권 정리가 되지 않아 폐지 후 매각처리도 어려운 상황이다.

지자체 저수지 14,000여개 중 저류용량이 10만㎡이하, 관개면적도 10ha이하가 대부분이며, 관개면적 지역인 평야 부도 대부분 도시화 등의 용도변경으로 관개를 할 필요가 없는 경우도 많은 실정이다. 이와 같은 저수지는 본래 목적인 관개가 없어 졌으므로 관개를 위한 유지관리는 필요 없는 상황이다.

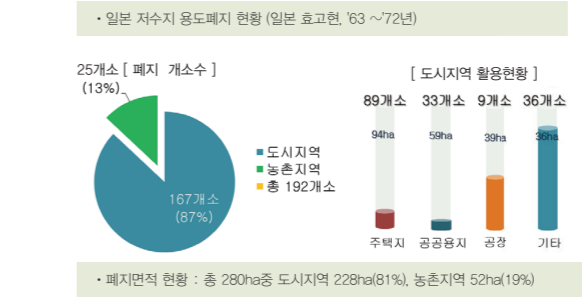
국내외현황자료  
- 국내 (연세대, 2014)



국내외현황자료  
- 국내 (소방방재청)



국내외현황자료  
- 국외 현황 자료



이와 같은 기능이 저하되었거나 상실된 저수지를 대상으로 주변여건 및 지역수요를 고려하여 유형별 관리방안을 마련하여 이에 따라 활용 또는 매각처분을 통해 저수지의 다원적 가치 향상 및 관리의 효율성에 대한 제고가 필요한 시점이다.

### 4. 끝마치며

한정된 국가 예산의 효율적 집행이 절실히 필요한 국내 노후 저수지 안전관리에 있어 우선적으로, 기능상실, 용도 폐기 대상을 선별하고, 이에 대한 관리방안을 마련해야 하며, 둘째, 유지해야할 저수지를 대상으로는 위험도 평가를 기반으로 한 투자우선순위결정을 수행하고, 셋째 다양한 구조적, 비구조적 대책 마련을 통해 합리적인 노후 저수지 안전관리를 실시해야 한다고 본 소고의 글을 요약하고자 한다.

끝으로, 국내 재해환경의 변화와, 노후 시설의 증가 등 국내 노후 저수지에 관한 내적 외적 취약성 가중이 고려된 바른 평가와 바른 대응기술이 국가적인 니즈로 대두되고 있는 현실에서, 저자는 본고를 관련 기술과 정책의 문제점을 되짚고 향후 개선방안에 관한 관리 실무자들이 재고의 기회로 삼기를 기대한다.