

# CSG 댐의 특성 분석



이종근  
한국시설안전공단 과장  
leejk@kistec.or.kr

## 1. 서론

CSG(Cemented Sand and Gravel)란 댐 수물지로부터 손쉽게 얻을 수 있는 강바닥 자갈이나 원지반으로부터 채취된 굴착재 등의 현지 발생재에 대하여 분급, 입도조정, 세척 등의 추가적인 조치없이 소량의 시멘트, 물 및 간이 시설을 이용하여 제조되는 시멘트계 고체화재로서 콘크리트에 비해 강도는 작으나 경제성과 환경보전적 측면에서 우수한 재료적 특성을 나타낸다.

CSG 공법은 CSG 재료를 이용하여 덤프 트럭, 불도저, 진동 롤러 등의 범용 기계를 이용하여 댐을 연속적으로 시공해 나가는 공법으로 RCC, RCD 공법과 유사하나 큰 차이점은 하상 또는 굴착된 토사를 인위적인 입도조절을 거치지 않고 그대로 이용하는데 있다. CSG 공법은 비용 감축과 환경보전 측면에서 개발된 일본의 신기술로서 콘크리트댐의 구조적 안전성과 필댐의 시공성을 갖춘 새로운

댐 공법으로 인정받고 있다.

CSG 공법의 최초 적용은 1992년 일본 나가시마댐의 가물막이댐(Coffer Dam)으로 초기에는 가물막이댐과 저사댐 등에 적용되었으나 현재는 본댐 시공뿐만 아니라 교량 내진성을 보강하기 위한 뒷채움 성토 등 그 활용성이 점차 확대되고 있다.

국내의 경우 댐의 가설수로에 CSG 공법이 적용된 사례는 있으나 본댐에서의 적용은 전무한 상태이다.

CSG 공법에 의한 댐 시공은 일률적으로 단언할 수는 없으나 콘크리트댐에 비해 최소 1~2년 공기를 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 공사비도 20~50% 정도 절감 할 수 있어 향후 국내 댐 시공에 적용성이 크다고 할 수 있다.

따라서 새로운 댐 축조공법의 하나인 CSG 댐에 있어 타 공법과 구별되는 특성을 살펴보고자 한다.

표 1은 일본에서 현재 계획중 이거나 공사중인 CSG 댐(본댐)을 나타내 것이다.

표 1. CSG 댐 사례(일본)

소재지	댐 명	댐 높이 (m)	총 저수 용량 (천 m³)	관리 주체	비 고
아키타현	초카이댐	82.0	44,100	국토교통성	계획중
군마현	마스다가와댐	76.3	5,800	군마현	계획중
나가사키현	혼묘가와댐	64.0	8,600	국토교통성	계획중
시가현	키타다와댐II	62.5	9,940	시가현	계획중
시가현	키타가와댐 I	53.0	9,430	시가현	계획중
홋카이도	산무댐	55.0	73,000	국토교통성	계획중
홋카이도	토베츠댐	52.7	78,400	홋카이도	공사중
오카나와	오쿠구비댐	39.0	8,560	오카나와 종합 사무국	공사중

## 2 CSG 댐의 특징

### 2.1 CSG 댐의 개요

근대적인 댐 건설의 역사는 확실성·신뢰성 높은 중력식 콘크리트댐의 건설로 시작하였으나 비용 절감을 위하여 댐 체적을 감소시킬 수 있는 중공식 및 아치식 콘크리트댐의 건설이 추진되었다.

콘크리트댐의 가장 큰 장점인 구조적 안전성에도 불구하고 사회 발전에 따른 인건비의 상승에 의하여 재료비보다 인건비의 절감에 중점을 두게 되어 기계화 시공에 의한 비용감축이 가능한 필댐의 건설이 증가하게 되었다(그림 1 참조).

필댐은 건설장비의 합리적 사용과 신속한 건설을 바탕으로 경제적 부담을 극복할 수 있는 방안으로 제시되었으

나 이상호우에 따른 월류 문제, 파이프 및 내부 침식 등에 따른 안전상의 문제가 콘크리트댐 보다 크게 야기되었다.

따라서 콘크리트댐과 필댐의 시공, 비용 및 안전상의 단점을 보완하기 위한 많은 연구들이 진행되었고 이러한 결과로 필댐과 같은 기계화 시공이 가능한 CSG 공법이 개발되었다.

### 2.2 CSG 댐의 단면형상

CSG 댐의 단면형상은 사다리꼴로 콘크리트댐의 삼각형 형상에 비교해서 응력의 변동이 작고 댐체 내에 발생하는 인장응력이나 압축응력을 최소로 억제할 수 있다. 이와 같은 특징은 댐체 재료의 선택의 폭이 넓어지고, 예전에 사용할 수 없었던 재료를 유용하게 이용할 수 있다. 또한 중력식 콘크리트댐을 건설하기에 기초지반의 강도나 변형성에 문제가 있는 댐 사이트도 CSG 공법을 적용하여 경제적인 건설이 가능해졌다.

CSG 댐은 방류설비나 검사랑 등의 구조물의 설치가 가능하다, CSG 자체는 수밀성을 기대할 수 없기 때문에 제체의 상류측에는 표면 보호콘크리트를 배치한다. 댐마루 및 하류측에는 내구성의 확보를 목적으로 보호 콘크리트를 배치하게 되며 댐체와 기초지반의 접합부에는 내구성을 확보하기 위해 단위 시멘트량이 많은 부배합 CSG를 시공하며, 지수 콘크리트의 밑에는 커튼그라우팅(Curtain

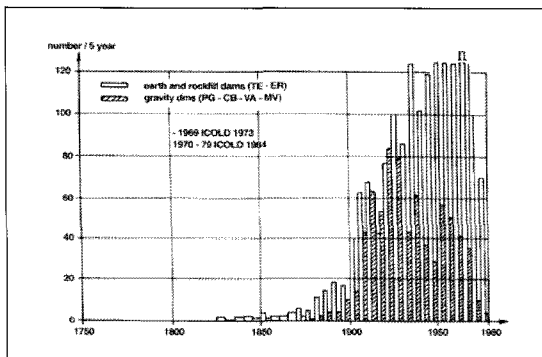


그림 1. 형식에 따른 연도별 댐 건설현황(미국)

기술기사 2

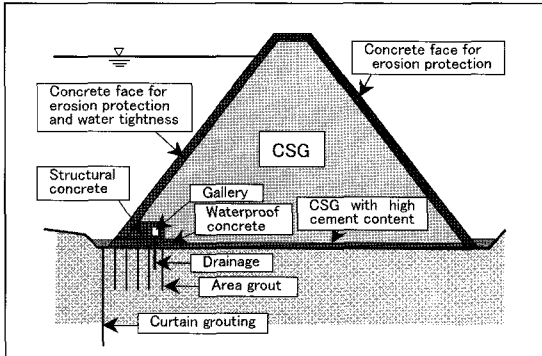


그림 2. CSG 댐의 단면도

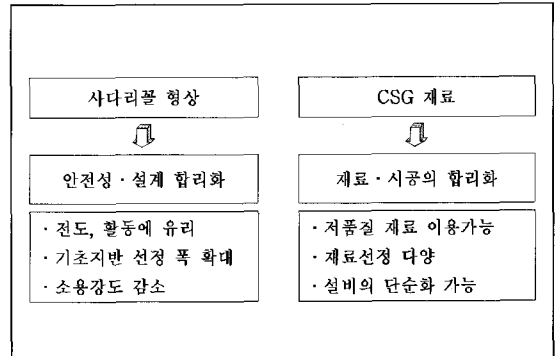


그림 3. CSG 댐의 특징

Grouting) 및 보조 커튼그라우팅을 시공한다.

### 2.3 댐 건설의 합리화

댐 건설의 합리화 기술은 크게 설계의 합리화, 재료의 합리화, 시공의 합리화 등으로 분류될 수 있다. 아치식 콘크리트댐 개발은 설계의 합리화에 해당될 수 있으며, 필댐이나 RCD 공법에 의한 콘크리트댐은 시공의 합리화, 댐체 굴착버력의 이용은 재료의 합리화로 평가할 수 있다.

CSG 댐은 설계의 합리화, 시공의 합리화 및 재료의 합리화를 동시에 실현 가능하게 할뿐 아니라 상대적으로 안전성도 높은 댐 형식이라 할 수 있다.

#### 가. 설계의 합리화

댐체 내에 발생하는 응력을 최소화하여 재료(CSG)에 요구되는 소용강도를 작게 할 수 있는 설계법이 주로 제안되

고 있다. 중력식 콘크리트댐은 상대적으로 고강도 콘크리트 재료를 사용하므로 댐 체적을 줄이기 위해 삼각형 형상으로 시공되나 CSG 댐은 응력을 최소화하여 소용강도를 줄이기 위해 필요 안전성을 충족하는 사다리꼴 형상이 설계시 적용되고 있다.

#### 나. 안전성의 합리화

안전을 고려하지 않은 경제성과 시공성은 무의미 하며 안전성 확보는 댐 건설시 반드시 추구하지 않으면 안 되는 매우 중요한 사항이다.

일반적인 중력식 콘크리트댐의 경우 상류면이 직각 또는 직각에 가까운 삼각형 형상으로 설계되므로 진도, 활동은 안전성 평가의 중요한 항목이 된다. 그러나 댐 재료의 소용강도는 지진시 등의 특별한 하중조건 하에서의 인장강도를 제외하면 중요한 요소가 아니므로 발생 인장응력

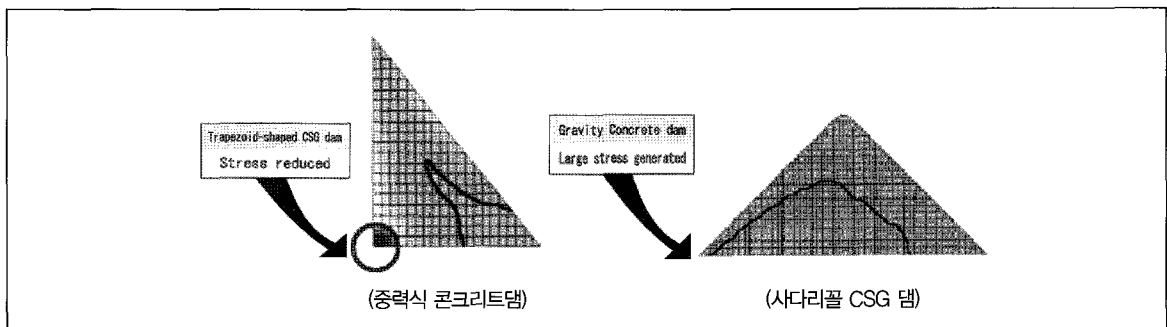


그림 4. 단면 형상에 따른 응력분포도

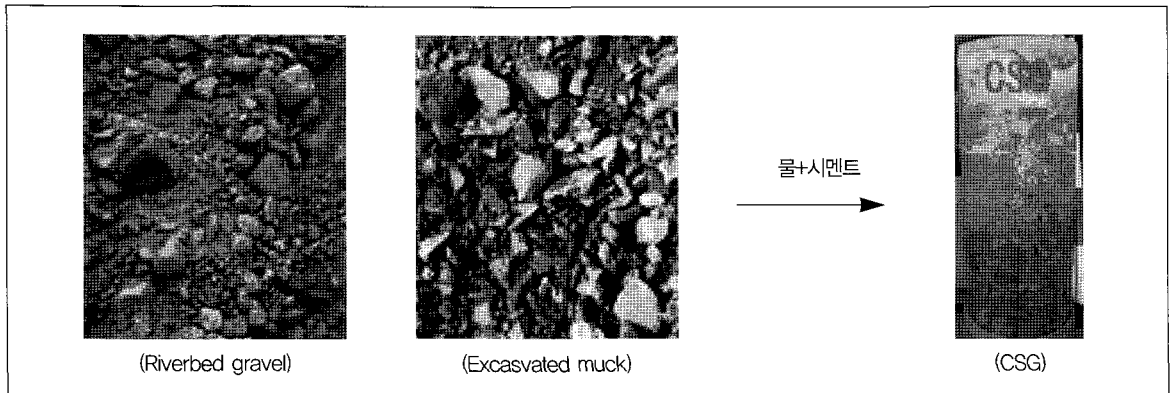


그림 5. 댐 건설현장의 재료를 이용한 CSG

을 최소화 할 수 있다면 품질이 낮은 재료의 사용이 가능하게 된다.

그림 4와 같이 CSG 댐은 사다리꼴 형상을 기본 단면으로 적용하고 있으며, 사다리꼴 형상은 지진시 등의 하중조건 하에서도 기존 콘크리트댐 보다 댐체 내부의 인장응력이 작게 발생하는 거동특성을 나타낸다.

사다리꼴은 기존 콘크리트댐에서 적용한 형상보다 전도 측면에서 형상적으로 유리하며 단면적이 크게 되어 활동에 있어서도 안정성이 뛰어나다. 또한 댐체가 상당히 크고 부지 너비도 넓기 때문에 기초지반에 작용하는 단위면적당의 작용력이 작아 중력식댐에 비해 기초지반에 대한 제약이 적다.

#### 다. 재료의 합리화

CSG 재는 댐 유역에서 용이하게 입수할 수 있는 재료에 입도조정을 실시하지 않고, 시멘트와 물을 첨가해 간단하고 쉬운 혼합에 의해 제조되는 시멘트계 고체화재이다. 따라서 기존에 폐기되던 재료를 유효하게 이용할 수 있다는 장점과 원석의 채취량을 줄일 수 있어 비용 감축 및 환경을 보호할 수 있다는 장점을 가지고 있다고 할 수 있다.

CSG 댐은 소요강도를 최소화함에 따라 CSG 원재료의 요구성능을 낮출 수 있어 콘크리트 골재로는 적합하지 않

은 재료의 사용이 가능하므로 비용을 절감시킬 수 있고 CSG 원재료의 폐기율을 최소화함에 따라 환경에 미치는 영향을 작게 할 수 있다. 또한 필댐에 비해 홍수에 따른 월류시 침식 파괴 저항성을 증가시킬 수 있다.

#### 라. 시공의 합리화

CSG 원재료의 요구성능을 낮출 수 있어 CSG 재료의 제조 및 시공방법을 간소화할 수 있고 고도의 품질관리가 요구되지 않으므로 연속적인 시공이 가능하다.

### 2.4 재료적 특성

새로운 댐 축조공법의 하나인 CSG 공법은 현장 발생토를 선별없이 소량의 시멘트와 혼합하고 필댐과 같은 기계화 시공을 통하여 연속적으로 댐을 축조해 가는 공법으로 기존의 RCC, RCD 공법과는 달리 사용 골재의 최대치수가 크고 별도의 입도 조정이나 선별 과정이 없다는 장점으로 재료의 활용성이 높다.

다만 CSG의 재료특성이 현지 발생재료의 입도에 크게 좌우되며, 재료 및 함수비에 따른 강도 변화의 폭이 상대적으로 크다는 단점이 있다.

#### 가. 강도특성

기술기사 2

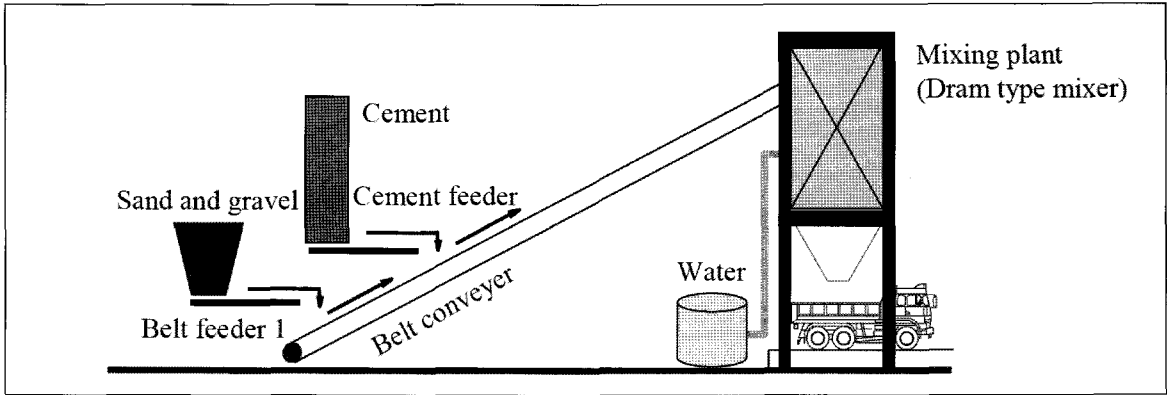


그림 6. Batch Mixing Plant for CSG

일축압축강도는 단위시멘트량의 증가에 따라 증가하며 동일한 단위시멘트량에 있어서는 입도, 밀도 및 재령 등의 조건에 의해 그 변화가 크게 된다.

CSG 공법의 가장 큰 장점은 현장의 입도를 최대한 선별하지 않고 그대로 적용하는데 있으므로 밀도 및 단위시멘트량 조건에 따라 강도적 특성이 변화될 수 있다.

따라서 초기의 설계 단계에서는 강도를 가정하고 CSG 재료 시험이 진행되는 단계에서 CSG의 강도를 재평가하여 본 설계를 할 필요가 있다.

설계시 기준강도는 반복 재하를 받아도 강도가 저하하지 않는 범위 내에서 충분히 안전한 값을 적용하여야 한다.

CSG 재료의 경우 빈배합 개념의 시공으로 함수비 변화에 따른 강도특성의 변화가 나타날 수 있으며 자연함수비를 대상으로 현장배합을 실시하는 만큼 시공 상의 문제점과 효율성을 고려하여 단위수량에 대한 검토를 하지 않을 수 없다. 단위수량에 대해서는 CSG 재의 표면 수량의 연속적인 파악이 곤란하므로 일정한 변동폭을 허용하는 것으로 하며, 관리 범위에 대해서는 표면 수량의 변동, 단위수량과 강도 특성, 시공성의 관계를 고려해 설정한다 이와 같은 것로부터 입도와 단위 수량의 범위를 정한 「마름도 풀」범위를 기준으로 관리를 실시하는 것이 좋다.

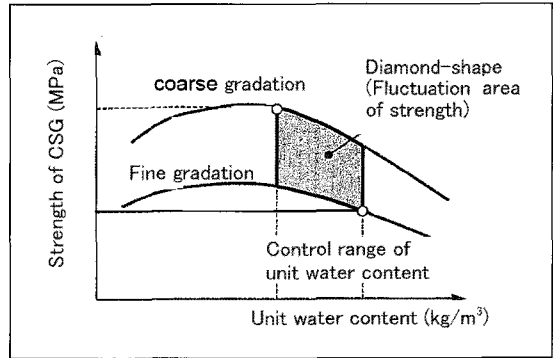


그림 7. CSG 재료의 입도, 단위수량 및 강도의 관계

나. 투수성

CSG 재료에 대한 시험결과 투수계수는 단위시멘트량에 대한 영향은 없는 것으로 알려져 있다. 다짐에너지 증가에 따라 투수성이 저하되는 경향을 나타내고 있으나 시멘트 첨가에 의하여 차수준을 형성할 수 있을 정도까지 저감할 수는 없는 것으로 연구되고 있으며, 이는 시멘트 페이스트가 모래의 공극을 확실히 충전하지 못하기 때문이며, 따라서 CSG 댐의 설계에 있어서 상류면에 차수목적용 위한 표면 차수 콘크리트를 설치하여야 한다.

다. 내구성

CSG 재료는 일반 콘크리트에 비교해서 치밀하지 않기 때문에 내구성에 비교적 취약한 것으로 알려져 있다.

CSG 공시체를 물속에 넣어 수분을 공급하는 경우(수중 상태)와 폴리에틸렌 봉투로 밀봉해서 수분을 공급하지 않은 경우(기중상태)에 대한 동결융해시험 결과에 의하면 수분의 공급이 있으면 큰 질량손실이 발생하지만 수분이 공급되지 않는 경우에는 큰 질량손실이 생기지 않는 것으로 조사되었다. 따라서 CSG 재료를 환경변화가 작은 댐의 내부에 시공하고 환경변화가 큰 외부에는 댐의 차수기능과 CSG 재료 보호 기능의 콘크리트를 배치하는 설계안이 제시되어 적용되고 있다.

### 3. 설계방법 검토

현재 국내는 물론 CSG 댐이 개발된 일본에서도 별도의 설계기준이 정립된 상태는 아니며, 일본댐기술센터에서 발간한 “台形CSGダム施工・品質管理技術資料(2007.9)” 등에 일부 설계사항이 언급되어 있는 정도이다.

일본에서 실시된 CSG 댐 설계사례를 살펴보면 재료 및 구조적 특징이 유사한 콘크리트댐의 설계기준 및 방법을

준용하고 있으며, 개략적인 설계방법은 다음과 같다.

CSG 댐은 콘크리트댐과 같이 구조적으로 안정성을 확보하기 위하여 활동·전도에 대하여 안정성을 확보하여야 한다. 또한 댐체 재료가 발생응력에 대하여 충분한 강도를 가질 수 있도록 설계되어야 한다.

상기의 조건을 만족시키는 설계를 위해서는 CSG 재료의 특성에 대응하는 설계를 실시하여야 하며, 이를 위해서는 실내시험이나 시험시공 등을 실시하여 이용되는 CSG 재료의 특성을 우선적으로 파악할 필요가 있다.

CSG 댐은 기본적인 형상이 사다리꼴이므로 콘크리트 댐 보다 댐 체적이 크고 댐 저면이 길게 되므로 마찰 저항력으로 활동안정성을 검토한다. 또한 사다리꼴 형상은 전도에 대해서 안전한 형상이지만 Middle Third의 조건으로 전도에 대한 안정성을 평가한다.

댐 자중과 댐에 작용하는 외력에 의해 댐체 내에 발생하는 응력이 허용응력 이내인지를 검토하기 위하여 댐의 응력상태를 적절히 판단할 수 있는 수치해석 등의 응력해석을 실시하며, 지진에 대해서는 동적응답 해석법 등을 실시

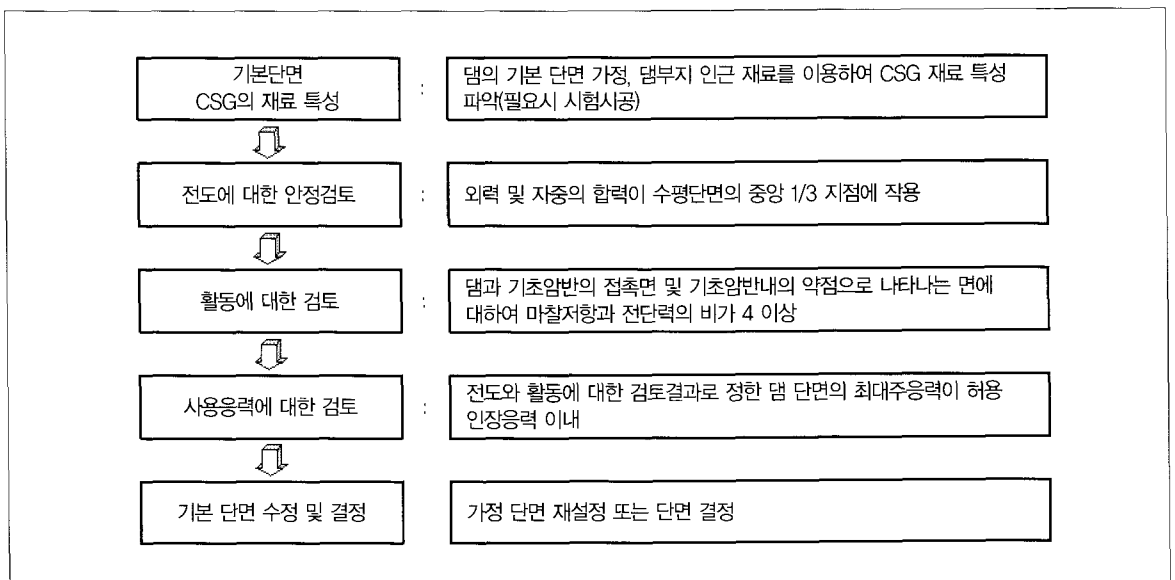


그림 8. 설계방법 및 흐름도

## 기술기사 2

하여 댐체에 발생하는 응력에 대한 안전성을 평가한다.

#### 4. 맺음말

CSG 댐의 특징과 재료적 특성 등에 대하여 살펴보았으며, CSG 공법은 기존에 폐기하던 재료를 유효하게 이용할

수 있다는 장점과 원석의 채취량을 줄일 수 있어 비용 감축 및 환경을 보호할 수 있다는 장점을 가지고 있어 그 적용성이 넓다고 할 수 있다. 따라서 향후 국내에서도 CSG 댐의 설계기법, 시공방법 및 CSG 재료의 특성 등에 대한 지속적인 연구와 기준정립을 위한 노력이 필요할 것으로 사료된다.

#### [참고문헌]

1. 최희섭(2007), "CSG 댐 콘크리트의 내구특성에 관한 연구" pp.6-12
2. 김기영 박한규(2007) "하상골재를 활용한 CSG 공법의 적용사례" Vol.25, No.7 pp.11-22.
3. 김기영 박한규(2005), "CSG 재료의 강도특성에 관한연구", 한국지반공학회 학술발표회 논문집 pp.619-626.
4. 김기영 전제성 김용성(2006), "CSG 공법의 실내 배합설계", 한국지반공학회 논문집 제2권 5호 pp.27~37
5. 김기영(2006), "CSG 재료의 일축압축강도에 미치는 영향인자", 한국지반공학회논문집 제2권 10호 pp.33~45.
6. CSG 댐 연구회(2000) "CSG材料を用いたダムの解析と設計方法の提案", 댐技術 No.166 pp.27~52
7. "台形CSGダム施工について(2001)" 国土技術研究センター
8. "台形CSGダム施工・品質管理技術資料(2007. 9)" 댐技術センター