

한탄강댐의 RCD공법 적용사례

Application Case of RCD method in hantan river Dam

노승규* · 김형찬** · 강현진*** · 안영섭**** · 최장배*****

No, Seung gyu · Kim, Hyeong chan · Kang, Hyun jin · Ahn, Young sub · Choi, Jang bae

1. 개 요

1.1 한탄강댐의 개요

한탄강댐은 경기북부 임진강유역의 홍수조절능력 확보가 가능한 저수용량 2.7 억³m 대규모 홍수조절댐으로 계획 되었다. 댐의 축조 높이 83.5m, 길이 690m, 축조량 70 만³m이며, 공사기간 2007 년 2 월 ~ 2014 년 10 월 (절대공기 81 개월) 이다. 댐의 주요 시설물은 월류식 비상용 여수로 5 문, 상용 여수로 및 배사관이 각각 2 문, 4 문의 생태통로를 축조하도록 계획하였다.

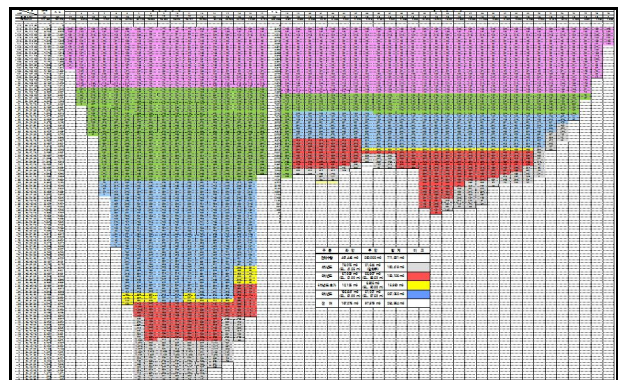
한탄강댐은 홍수기 월류에 대한 안정성 확보 및 대규모 시공에 적합한 기계화 시공을 통하여 공사비를 절감할 수 있는 RCD (Roller Compacted Dam concrete) 공법을 주요 공법으로 선정하였다.

1.2 시공현황

한탄강댐의 연차별 댐 축조 계획은 다음 표1와 같다.

표 1. 연차별 축조계획

연 도	물 량(m ³)	공정율(%)
2014 년	91,463	100%
2013 년	130,000	82.3%
2012 년	237,062	60.1%
2011 년	139,056	32.3%
2010 년	104,419	14.8%
합 계	702,000 m ³	



* 노승규: 대림산업 토목사업본부 한탄강댐현장 현장대리인(sknolove@daelim.co.kr)

** 김형찬: 대림산업 토목사업본부 한탄강댐현장 공사팀장(agayekim@daelim.co.kr)

*** 강현진: 대림산업 토목사업본부 한탄강댐현장 공사대리(kms0608@daelim.co.kr)

**** 안영섭: 대림산업 토목사업본부 한탄강댐현장 공사대리(S1000502@daelim.co.kr)

***** 최장배: 신동아종합건설 토목사업본부 한탄강댐현장 공사주임(hide0628@sdag.co.kr)

2. 공종별 준비사항



그림 1. 현장준비흐름도

2.1 세륜시설

공사차량의 차륜은 타설현장 진입 전 3단계에 걸쳐 세륜하도록 계획하였다. 1단계에서는 BP장으로부터 콘크리트를 운반하는 차량은 포장도로를 진입하기 전 고정식세륜기를 거치게 되며, 2단계에서는 포장된 콘크리트 운반로를 지나면서 차륜에 묻은 이물질을 현장에 비치된 이동식세륜기를 이용하여 세척하게 된다. 3단계에서는 세륜기에서 제거되지 못한 이물질을 인력을 통한 직접분사를 실시하여 타설면에 이물질이 혼입되지 않도록 세륜관리에 중점을 두고 실시하였다.



(a) 고정식세륜기



(b) 이동식세륜기



(c) 직접분사

그림 2. 세륜설비

2.2 탁수처리

탁수는 골재계열과 레미콘계열로 나뉘게 되는데 골재계열은 암반 청소시 발생되는 탁수로 양수설비를 이용하여 일 600톤까지 처리할 수 있는 골재 탁수처리시설로 이송하여 처리하였다. 현재는 암착부 타설이 완료되어 골재계열 탁수는 발생되지 않아 용도변경을 통해 레미콘계열 탁수처리장으로 전환하여 사용할 계획이다. 레미콘계열 탁수는 제체내에 웅덩이를 설치하여 고인 탁수를 흡입차량을 이용하여 탁수처리설비로 이송하여 처리하였다. 탁수처리계통은 그림2, 그림3과 같다.



(a) 암반청소



(b) 임시 침사지



(c) 골재계열 탁수처리설비

그림 3. 골재계열



(a) 청소 및 양생수



(b) 레이턴스제거수

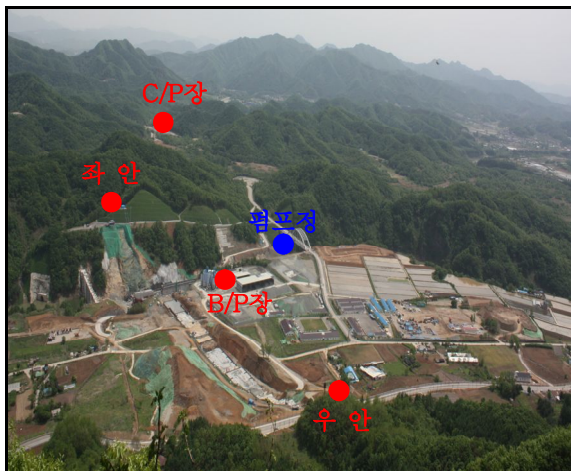


(c) 레미콘계열 탁수처리설비

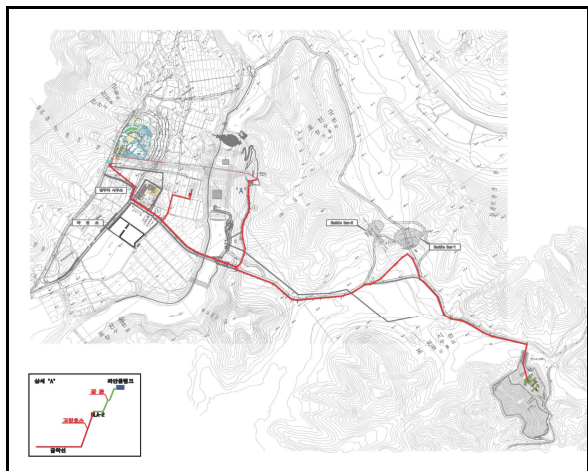
그림 4. 레미콘계열

2.3 급수설비

공사용 급수설비는 댐축조에 필요한 공사용수와 골재생산설비, 콘크리트혼합설비 등에 사용된다. 공사용 급수설비는 사용목적 및 지형적 특성을 고려하여 4개소로 나누어 설치하였고, 각 각 우안 200m³/hr, 좌안 150m³/hr, 골재생산설비 250m³/hr, 콘크리트혼합설비 220m³/hr로 4곳에 물탱크시설을 설치하여 소요되는 용수를 확보하였다.



(a) 급수 물탱크 설치위치



(b) 급수배관 LINE 설치도

그림 5. 급수설비:

2.4 콘크리트 혼합설비

콘크리트 혼합설비는 적정 배합비 및 시멘트 성분에 따른 균일한 콘크리트를 능률적으로 제조하기 위하여 댐용 콘크리트 혼합설비와 일반용 콘크리트 혼합설비로 구분하여 설치하였다. 댐 콘크리트 혼합설비는 굵은 골재 최대 치수가 80mm이며 Mixing Time이 짧고 단위생산량이 많은 것을 감안하여 강제혼합식 Mixer를 선정하였다. 설계 최대 일타설량은 14시간 작업기준 좌안부 2,000m³, 우안부 1,500m³이며, 시간당 필요능력 143m³로 좌.우안을 병행 공급할 수 있는 Mixer 4.5m³ x 2기를 설치하였다. 혼합설비 운영에 있어 일 평균 생산량은 콘크리트 종류에 따라 차이가 있으며, RCD기준 시간당 160m³로 1일 8시간 작업 시 일평균 생산량은 1,280m³를 생산 할 수 있었다.

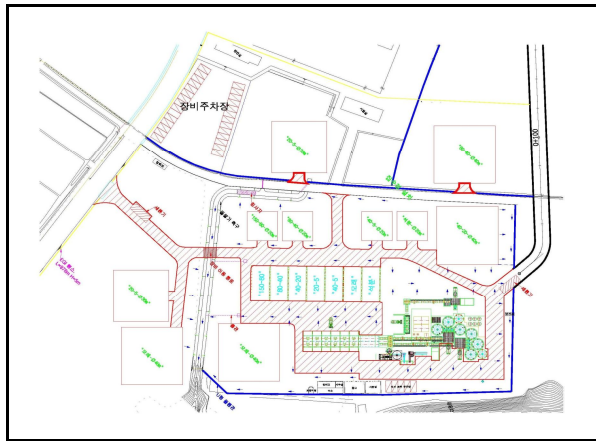
$$Q(\text{1시간당 작업량(m}^3\text{/hr)}) = E(\text{작업효율}) \times q(\text{콘크리트생산설비의 공칭능력(m}^3\text{/hr)})$$

표 2. 콘크리트 생산량

Mixer용량		시간당 평균 생산량(1호기)		
설 계	생 산	일반콘크리트	ELCM	RCD
4.5m³	3.0~3.5m³	150m³/hr	100m³/hr	80m³/hr



(a) 콘크리트혼합설비 전경

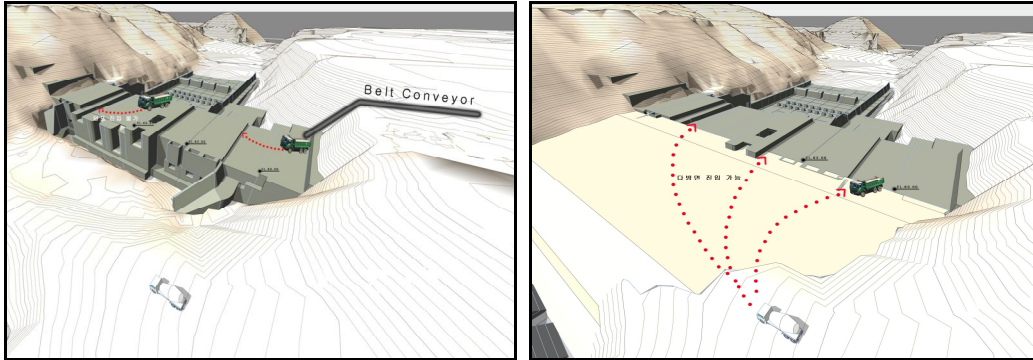


(b) 콘크리트혼합설비 설치도

그림 6. 콘크리트 혼합설비

2.5 콘크리트 운반로

당초 콘크리트 운반계획은 좌안부의 주요구조물(배사관, 상용여수로, 생태통로, 비상여수로)은 Tower Crane과 Belt Conveyor를 사용하며, 우안부 타설은 Dump Truck 직송방식으로 계획하였으나 콘크리트 운반계획을 면밀히 검토한 결과 본댐 재내 구조물과 강제설비 설치작업 등 간섭이 발생되었다. 또한 Tower Crane 사용시 타설속도를 감안하면 공기지연이 발생하여 이에 따른 좌안부 공기손실을 최소화 하기위해 댐 상류면에 성토를 진행하여 Dump Truck 직송 방식이 가능하도록 운반계획을 변경하였다. Dump Truck 직송 방식은 당초계획보다 콘크리트 운반 속도를 보다 향상 시킬 수 있으며 포장도로를 이용하므로 콘크리트운반 과정에서 차륜에 이물질이 묻는 것을 방지하는 효과와 댐제체를 성토하며 작업을 하기 때문에 추락에 의한 안전사고를 줄일 수 있는 장점이 있다.



(a) 당초계획

(b) 변경계획

그림 7. 콘크리트운반계획



(a) 좌안진입로

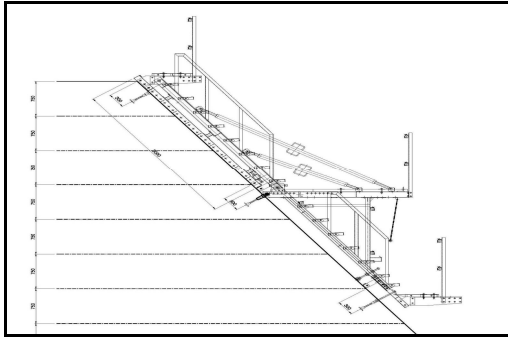
(b) 우안진입로

그림 8. 덤프직송도로

3. 거푸집 계획

3.1 강재거푸집

댐용거푸집의 계획은 사용횟수에 따른 내구성을 감안하여 강재거푸집 Type으로 계획하였다. 국내 및 일본의 댐시공 사례를 보면 목재거푸집을 사용하는 경우도 있으나 거푸집 변형으로 인한 하자 발생의 우려가 있어 당 현장은 강재거푸집을 사용하도록 계획하였다. 강재거푸집은 RCD 타설높이에 따른 거푸집 사용횟수를 고려하여 제작하였다. 거푸집 제작시 공장에서 제작된 단위 Panel 및 Accessory를 일부 사전조립을 통해 현장에서 Bolt로 고정하는 방식으로 조립시간을 단축시켰다. 강재거푸집은 거치 후 구조물 완료 시까지 사용해야 하므로 Frame의 형상을 C형 Channel을 사용하여 중량을 줄이고 내구성은 견고하게 제작하였다. 경사거푸집의 Panel은 3.0m로 3리프트를 사용하도록 제작되었고, 경사부의 작업발판은 전구간 수평으로 설치하여 추락재해를 사전에 방지하였다. 수직거푸집의 Panel 2.4m로 3리프트를 사용하도록 제작하였으며 상.하류 거푸집이 동시에 설치 및 해체가 될 수 있도록 제작하였다.

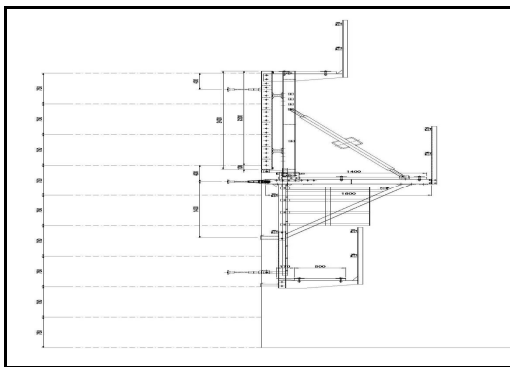


(a)경사부거푸집(3.0M)



(b)경사부거푸집 적용사례

그림 9. 강재거푸집



(a)수직거푸집(2.4M)

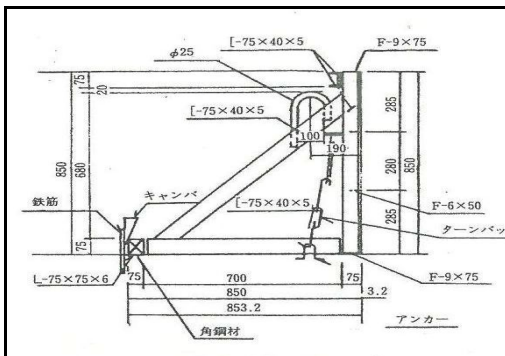


(b)수직거푸집 적용사례

그림 10. 강재거푸집

3.2 타설중지거푸집

타설중지거푸집은 이동식거푸집과 매립식거푸집으로 나뉜다. 이동식거푸집은 일본의 문헌을 참고하여 제작 적용해본 결과 RCD타설 후 타설면이 일정치 않고 요철이 발생해 거푸집 선형 정렬 작업과 거푸집의 고정작업에 어려운 문제점이 발생하였다. 이러한 불편함을 해소하기 위해 당 현장에서는 RCD 타설면에 거푸집 거치 후 선형 정렬을 손쉽게 수정 할 수 있도록 거푸집에 Push Pull Brace를 설치하였고 Set Anchor로 고정하는 방식으로 견고하게 설치가 가능하도록 하여 거푸집설치 소요시간을 단축시키는 효과를 거뒀다.

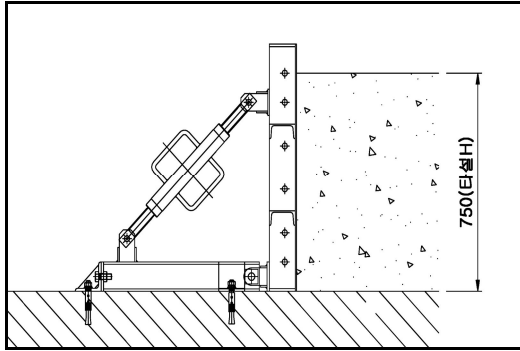


(a)이동식거푸집(일본)



(b) 일본 적용사례

그림 11. 이동식거푸집 大人田댐(일본)



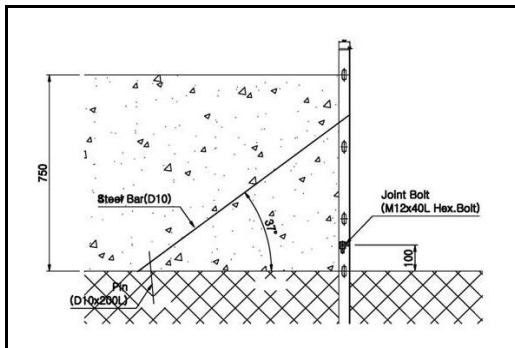
(a)이동식거푸집(0.75M)



(b)현장 적용사례

그림 12. 이동식거푸집(한탄강댐)

타설중지거푸집에 사용되는 매립식중지거푸집은 이동식거푸집과 달리 거푸집이 콘크리트와 함께 매립되므로 작업이 비교적 간단하며 연속되는 Block타설에 공정관리가 편리한 반면 자재비용이 고가이다. 당초 매립식중지거푸집의 Panel 두께는 2.4mm였으나 과설계에 따른 경제적 손실이 많다고 판단되어 거푸집 제작을 재검토해 Panel 두께를 1.6mm로 매립식중지거푸집의 기능은 그대로 유지하면서 중량을 줄일 수 있었다. 최초 현장에 반입된 거푸집의 중량은 28.8kg였지만 기능성 확보가 가능한 17.5kg까지 거푸집의 중량을 11.3kg을 줄여 자재비를 절약할 수 있었다. 이는 합판거푸집(19.0kg) 보다 가벼운 것으로 원가 절감뿐만 아니라 시공성까지 도모할 수 있었다.



(a)매립식거푸집



(b)현장 적용사례

그림 13. 매립식거푸집

4. 사용장비

RCD공법에 사용되는 장비는 댐 시공에 용이하도록 특성화된 장비이다. 당 현장에서는 댐시공에 사용되는 장비 대부분이 외산장비임을 감안하여 국내장비와 수입장비를 구분하여 국산화 장비 제작을 검토하였다. 국내 ELCM공법의 시공 사례가 많이 적용되고 있어 줄눈절단기 및 Vi-Back의 경우 개발 후 국내 수요가 있을 것으로 예상되어 국내 “D사”와 “한국항공대”가 산학 협력 연구를 통하여 외산장비와 견줘 뒤지지 않는 장비를 개발하였다. 반면, Vibration roller 및 인력Vibration(Ø130)의 경우 개발 이후 장비의 활용문제가 대두되어 수입을 결정하였으며, 본 시공에 사용된 RCD장비는 다음 표3와 같다.

표3. RCD용 타설장비

구 분	설 계		현 장 적 용	
	종 류	성 능	종 류	성 능
콘크리트운반	Dump Truck	11t, 15t	Dump Truck (국산)	15t
	Agitator Truck	6m³	Agitator Truck (국산)	6m³
퍼 고 르 기	Bulldozer(습식)	12t	Bulldozer	13.5t
	Wheelloader	0.95m³급	Back hoe (국산)	6m³
줄 눈 절 단	진동줄눈절단기	2,300vpm	진동줄눈절단기 (국산)	2,800 ~ 3,000vpm
콘크리트 다짐	Vibration roller	차주식 10t	Vibration roller (SD451)	11t
	Vi-Back	Ø150 x 850 x 3nos	Vi-Back (2대) (국산)	Ø150x1000x4nos
	Vibrator	Ø45	Vibrator(6EA)	Ø130
그 린 컷	Polisher	1.5t, 20ps, 3.4km/hr	Back hoe (국산)	Brush장착
	High Water Pressure Jet	245kg/m²	High Water Pressure Jet	350kg/m²

4.1 국산화 장비의 특성

줄눈절단 장비는 국내에선 최초로 개발되어 도입되는 장비로 360°회전이 가능하도록 제작하여 장비의 위치에 관계없이 시공이 가능하도록 제작을 하였다. 줄눈절단기는 굴삭기에 편심 축 두개를 사용하여 진동이 발생하는 방식으로 두 편심축은 무게중심이 수평상에 위치한다. 이를 서로 다른 방향으로 일정하게 회전시키면 두 편심축은 원심력에 의해 방향성 및 일정한 진폭, 그리고 주기를 가지고 진동이 발생하는 방식이다.

Vi-Back은 일반적으로 사용하는 방식으로 고속 피스톤 유압모터를 사용하여 최고 10,000RPM까지도 가능하도록 하였다. 편심축을 하나로하여 진동이 다짐봉으로부터 360° 전방향으로 전달 되도록하여 ELCM 타설 시 다짐이 보다 효과적으로 될 수 있도록 개발하였다.



(a) 줄눈절단기



(b) Vi-Back장비

그림 14. 국산화 성공 사례

5. 현장시공

5.1 타설 전 준비사항

시공 전 근로자들을 대상으로 동영상 및 Presentating자료를 활용하여 시공방법에 대한 상세한 교육을 실시하였으며, 협력업체 직원 및 작업반장을 중심으로 업무분장을 완료하고 장비운영 및 안전대책에 관한 별도의 교육을 실시 하였다. 또한, RCD공법은 재래식공법(블럭타설)과 비교하여 강우 등의 기상조건에 크게 영향을 받기 때문에 타설 당일의 현장주변 및 상류지역의 기상정보를 신속.정확하게 파악하는 것이 무엇보다 중요하였다.

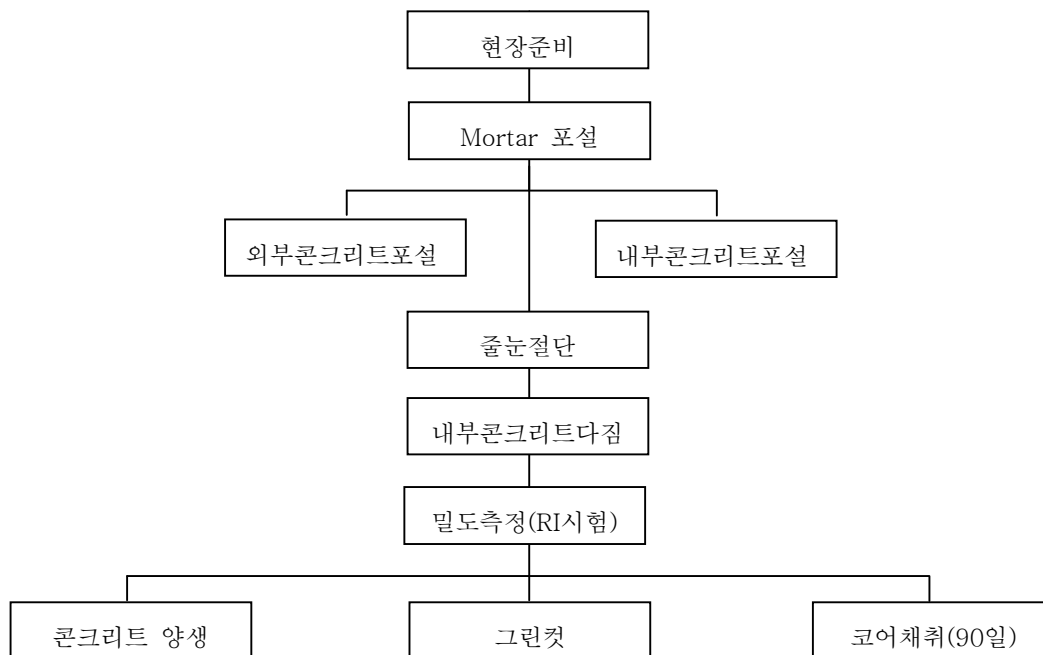


그림 15. RCD시공방법 흐름도



(a)등판차로설치

(b)타설준비전경

그림 16. RCD 시공준비

5.2 콘크리트 운반

콘크리트 운반시 포장 도로를 이용하여 차륜에 이물질이 혼입되는 것을 방지하고, Dump Truck 속도를 20Km/ hr미만으로 제한하는 등 급정거 및 급회전을 금지하여 재료의 변화가 최소화 되도록 하였다.

5.3 타설면 Mortar 포설

Mortar 포설은 신.구 타설면의 부착력을 증대시켜 수밀성을 확보하기 위해 Mortar를 포설하였다. Mortar 포설은 1.5cm를 표준으로 하였으며, RCD포설 구획에 맞추어 단계적으로 시행하도록 하였다. 작업이 신속하고 일정한 포설두께를 확보하기 위하여 Backhoe 및 인력 포설을 병행하도록 하였다.



그림 17. RCD Mortar 포설

5.4 외부콘크리트 타설

외부콘크리트는 연속된 복수의 Block을 한번에 타설하여, Vi-back장비를 이용해 다짐하는 확장 Layer 공법을 적용하였으며, 거푸집 테두리에 2.5 ~ 3.0m 폭으로 타설하였다. 외부콘크리트의 타설Lift높이는 RCD와 동일한 0.75m이며, Vi-Back 다짐봉의 길이가 1.0m임을 감안하여 2단 타설방법(50cm+ 25cm)으로 시공하였다. 다짐완료 후에는 콘크리트의 표면수가 증발되지 않도록 즉시 천막을 덮어 표면 보호를 실시하였다. 외부콘크리트 타설후 2시간이내 내부콘크리트 타설이 진행되지 않을 경우 이중경계부에 다짐이 어려움으로 타설 Lane폭 설정이 무엇보다 중요하다. 또한, 외부콘크리트 타설면에 소형Compact를 이용하여 타설면 요철을 줄이면서 밀실히 다져지도록 하였다.



그림 18. 외부콘크리트 타설

5.5 RCD포설

RCD 펴고르기 방향은 댐의 폭이 넓은 제체 하부는 댐축에 평행하게 시공하였다. Lift높이와 Lane폭 및 펴고르기 층수는 굵은골재 최대치수, 콘크리트의 제조·운반·다짐 능력 등에 의하여 결정된다. 당초 굵은골재의 최대치수는 150mm로 설계되어 있었지만, 콘크리트 포설 시 재료분리의 발생우려가 높고 작업이 어려운 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 RCD시공 실적 자료를 검토한 결과 150mm를 80mm로 변경하여

시공한 사례를 당현장에 적용하였다. RCD포설의 품질확보는 박층포설에 의하여 결정된다. 문헌에 따르면 박층포설은 1층 25cm 3층으로 포설하는 것으로 나타냈지만 실제 현장적용에서는 재료분리가 일어나지 않는 범위내에서 최대한 얇게 펴서 전압 다짐을 최대한 하도록 하여 현장 품질확보를 하였다.



그림 19. RCD포설

5.6 줄눈 설치

줄눈재료는 아연도금강판을 사용하였으며, 줄눈재 삽입 전 시공부에 절단면을 형성시켜 줄눈재 시공이 용이하도록 하였다. 또한 장비 인발시 줄눈재가 상부로 노출되는 것을 방지 하기 위해 줄눈재의 끝부분을 접어 시공하였다. 줄눈재의 삽입은 기타설 리프트까지 삽입하는 방법을 채택하여 RCD포설 후 시공 이음부를 정확히 표시하여 시공하도록 하였다.

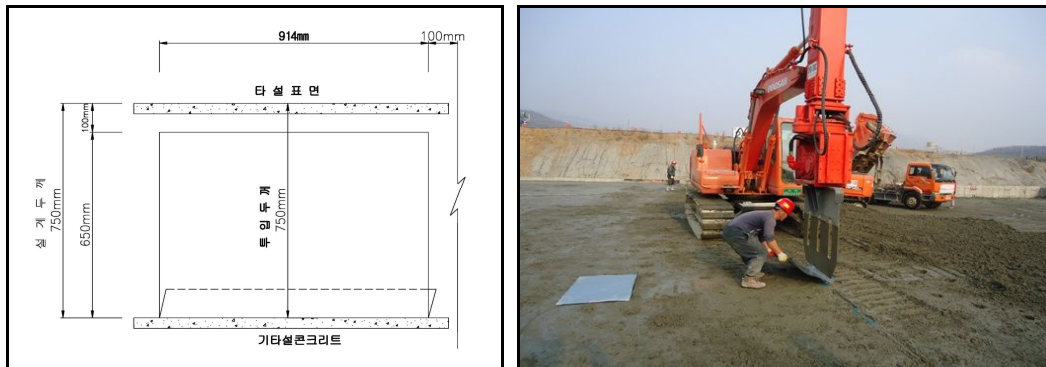


그림 20. 줄눈설치

5.7 RCD다짐

RCD의 다짐장비는 토공용 자주식 10톤 진동롤러를 시험시공시 적용했으나 타설층에 다짐이 균등하게 전달되지 않아 재료분리가 발생한 것을 코어채취 결과 확인 할 수 있었다. 따라서, 다짐장비는 외산장비를 사용해 차륜장치가 전·후륜 모두 진동륜 및 구동륜인 수직진동롤러(SD451)를 사용하여 전체의 타설면을 동일한 조건으로 다짐이 될 수 있도록 하였다. 다짐방향은 펴고르기 방향과 일치되게 실시하되 일정한 전압 횡수로 인접한 Lane과 약 0.2m정도 중첩되게 2.0m폭으로 실시하도록 하였다. 주행속도는 표준속도 (1Km/hr)를 유지하도록 하였으며, 다짐횟수는 보통 Lift높이에 따라 결정되는데 당 현장의 Lift높이(0.75m)와 시험시공 결과에 따라 무진동 2회, 진동6회로 적용하였다.



그림 21. RCD다짐

5.8 시공중 표면수 관리

RCD 타설 시 1구획을 지정해 콘크리트의 혼합에서 다짐까지 소요되는 시간은 보통 2~4시간 이내로 제한한다. 이는 콘크리트 경화가 시작되기 전에 작업을 마무리하여 품질확보를 하기 위함이다. 때문에 콘크리트의 품질변화가 없도록 타설이 완료된 부분에 대해서는 타설면이 항상 습윤한 상태를 유지 될 수 있게 관리하고 있다. 특히, 직사광선이 강한 시간에는 이러한 조치를 반드시 취할 수 있도록 하였다. 하지만, 지나친 분무양생은 오히려 RCD콘크리트의 품질을 저하시킬 수 있기 때문에 관리감독자 입회하에 적당한 양이 분무될 수 있도록 관리하였다.



그림 22. 시공중 표면수 관리

5.9 다짐관리

RCD 다짐관리 확인은 진동롤러에 표기된 전압횟수 및 RI밀도계에 의한(기준치값 2.3ton/m³)측정, 다짐 시 침하량 등을 통하여 관리하였다. 또한, VC측정으로 콘크리트 Workability확인하여 다짐개시시간 등을 탄력적으로 조절을 하고 있다. 당 현장은 균질한 포설상태 및 진동롤러면의 적당한 수분부착, 진동롤러 면의 상태 등을 지속적으로 기록하여 시공방법을 개선하도록 하고 있다.



그림 23. RI시험

5.10 이중배합 경계부 시공

이중배합 경계부는 외부콘크리트와 내부콘크리트의 접합면으로 당 현장은 외부콘크리트를 선행 타설하고 있으며, 외부콘크리트 폭은 2m로 내부진동기(Vi-Back) 및 인력Vibration(Ø130)를 이용하여 2단 (0.5m+0.25m)으로 분할 타설하였다. 이중배합 경계부의 다짐은 RCD 포설후 Vibration roller 다짐 전 Vi-Back을 이용하여 이중경계부 다짐을 하였다. 이 후 Vibration roller를 스펀지현상이 발생되지 않는 범위 까지 균일하게 전압다짐이 될 수 있도록 하였으며, 타설면 경계부의 요철을 줄이기 위해 RCD 전압 후 소형 Compact를 이용하여 경계부가 밀실히 다짐이 될 수 있도록 하였다.



그림 24. 이중배합 경계부

5.11 RCD 양생

타설 종료 후 콘크리트의 강도발현 및 균열방지를 위하여 담수양생을 진행하였다. 양생기간 중에는 진동 및 충격, 하중의 영향을 받지 않도록 주의하였다. 또한 그린컷 전 콘크리트 양생은 양생포를 덮어 주간 직사광선에 의한 온도상승이나 야간 온도강하에 따른 품질저하가 없도록 하였다.



(a)그린컷(전) 담수양생



(b)그린컷(후) 담수양생

그림 25. 담수양생

5.12 그린컷

콘크리트 표면이 경화한 시점에서는 Water jet 등을 이용하여 Green-cut을 시행하였다. Green-cut의 시작 시기는 콘크리트 품질 및 공정관리에 영향을 미치므로 그린컷이 개시시간 결정은 계절과 온도에 따라 달라지며 Lift Cycle를 반영하여 결정하였다. Green-cut 시기가 빠르면 레이턴스가 많이 발생하게되고, 시기가 늦어질 경우 콘크리트의 경화가 많이 진행되어 작업 시간이 늘어나게 된다. 적절한 Green-cut 시작시기는 기온 및 양생 상태에 따라 큰 차이가 있지만 평균적으로 하절기에는 타설 종료 후 기온이 25~31℃ 이상 일 경우 12시간 이내, 춘추절기 기온이 15~25℃이하인 경우에는 24시간 이내에 실시하였으며, 신발 뒷굽으로 강하게 눌러 자국이 남는 정도의 시간이 경과한 후 시행하는 것이 작업하기에 편리하였다. Green-cut시기는 최상의 시공일정 확보를 위해 계절, 기온, 날씨 등의 현장여건을 고려하여 실시하였다.



(a)그린컷(전)



(b)그린컷(후)

그림 26. 그린컷

5.13 강우시 대책

RCD공법은 재래식공법(Block 타설)에 비해 넓은 면적을 타설하기 때문에 타설 전 상세한 기상정보를 파악하여 강우시기 및 강우량을 판단하고 타설 범위를 결정하는 것이 중요하였다. 타설중 2mm/hr이내의 강우시에는 기타설 부분은 천막 등을 덮어 보호 하였으며, 작업인원을 충원해 신속히 다짐을 완료하였다.

강우가 2~4mm/hr 이내인 경우에는 유슬럼프 콘크리트(ELCM)로 전환하여 작업을 실시하였고, 4mm/hr 이상 일 경우 즉시 타설을 중단하고 신속하게 천막을 덮어 타설면을 보호하였다. 또한, 강우 지속시간이 2시간 이내는 우수를 처리하고 타설을 진행하였지만, 4시간 이상 강우가 지속될 때에는 작업을 종료해야만 했다. ELCM콘크리트는 타설 중 강우가 4mm/hr 이내로 지속될 경우 우수가 고이는 곳을 스폰지를 이용해 제거하며 타설을 진행하지만 강우가 5시간 이상 지속될 경우 타설을 종료해야만 한다.



그림 27. 우천시 조치전경

5.14 코어채취 및 평가

시험시공후 타설면의 코어 외관평가 및 압축강도, 단위체적중량을 측정하기 위하여 Ø100mm 의 코어채취를 실시하였다. 코어의 단위체적 중량은 2.3t/m³ 이상, 재령 56 일 경과시 전반적으로 압축강도는 12Mpa 이상을 확보하여 RCD 댐의 품질을 충분히 만족하고 있었으며 기술적으로 문제가 없는 것으로 판단 되었다. 또한, 다짐상태를 파악하기 위하여 채취한 코어 외관을 일본 RCD 댐의 평가기준을 적용하여 기록 관리하였다.



(a)코어채취전경

(b)코어시료

그림 28. 코어채취

6. 안전관리

6.1 RCD 시공 위험요인

RCD시공은 전 공종을 장비를 사용하는 공법인 만큼 인력과 장비간 충돌 및 협착사고 위험에 항상 노출되어 있다. 또한, 인력 Vibrator 및 분무기등 전기공구 사용시 누전차단기를 미경유한 전기선을 사용해 감전사고가 일어날 수 있으며, 거푸집 상단의 안전난간대 단부 발생으로 인한 추락사고의 위험이 항상 도사리고 있다.

6.2 현장 안전관리 대책

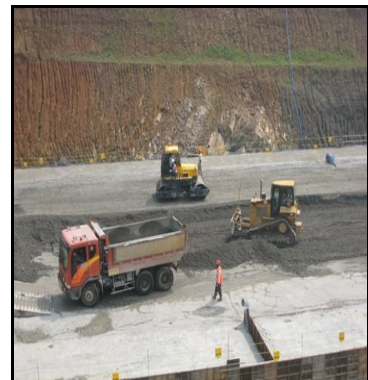
일본의 경우 RCD공법에 사용되는 장비에 GPS를 장착해 작업원이 장비에 접근 할 경우 경보음이 작동되어 충돌사고를 방지하고 있다. 하지만 협소한 작업공간에서 여러 장비의 후방경보음과 GPS 경보음들이 상시 작동되기 때문에 작업원은 이를 구별 하기는 쉽지 않다. 당 현장은 이러한 문제점을 해결하기 위해 장비에 GPS를 장착하는 방식 대신 장비에 충돌방지봉을 설치해 작업자가 장비에 접근 할 경우 장비에 부착된 충돌방지봉에 의해 위험을 알릴 수 있도록 하였다. 또한 현장에 신호수를 배치해 장비작업간 신호수의 통제하에 작업이 진행될 수 있도록 하였다. 당 현장은 향후 RCD시공 장비에 후방 카메라를 설치하여 체계적인 안전관리가 될 수 있도록 진행 할 계획이다.



(a)충돌방지봉 장착



(b)안전난간대설치



(c)신호수배치

그림 31. 안전관리 대책

7. 결 론

한탄강댐은 국내 최초로 RCD 공법을 적용하여 축조되는 콘크리트 중력식 댐으로 국내에 시공사례가 전무하다. 따라서, 일본의 문헌고찰 및 전문가 자문을 통하여 RCD 공법을 이해하고 참여 기술자로 하여금 일본댐 현장 방문을 통해 직·간접적인 기술습득에 많은 노력을 기울였다. 이를 바탕으로 RCD 공법의 현장적용 이전 7 차례의 시험시공을 통하여 RCD 공법의 중요 기술을 습득해 본공사에 적용 하도록 하였다.

RCD 공법은 기계화 시공이라는 특성으로 인하여 국내 댐 현장에 적용하는 과정에서 댐시공 장비의 확보에 가장 중점을 두고 계획하였다. 그 과정에서 국내 기술로 제작한 Vi-Back 및 줄눈절단기는 일본의 장비와 비교해도 손색없을 만큼의 성능향상을 이루어내었다. 최근에 건설중인 국내 댐의 경우 ELCM 공법으로 축조되는 사례가 많은 만큼 그 활용성이 기대된다. 더불어 당 현장은 본 시공을 하면서 예상치 못했던 기후적인 문제와 장비 및 콘크리트 생산설비의 오작동 등을 충분히 발생할 수 있는 상황에 대해 신속히

대처할 수 있도록 대처방안을 매뉴얼로 작성해 현장 품질확보를 위해 노력하였다. 현재 RCD 공법의 품질관리는 일본 시공사례를 바탕으로 관리되고 있지만 한탄강댐만의 시공 및 품질의 기술개발과 Feed Back 을 통해 기술력을 축적한다면 국내 여건에 맞는 RCD 공법 Guideline 을 새롭게 제시 할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 한국수자원공사(2008), “한탄강홍수조절댐 시공계획 보고서”
2. 한국수자원공사(2009) “콘크리트 댐의 세부기술”
3. 한국수자원공사(2007) “RCD 품질관리 요령”
4. 대림산업(2010), RCD시험시공 계획서
5. 대림산업(2010), RCD시험시공 결과보고서
6. 한국콘크리트학회(2009), 콘크리트표준시방서
7. 재단법인 일본댐 협회(財團法人 日本댐 協會)(2000) - 콘크리트댐의 시공
8. 일본 RCD공법 기술지침(안) (1989)
9. 일본 “기도댐” 공사지