

실물크기형 봅슬레이 트랙 Mock-up Test 시공방법 및 내구성 평가

이겨레^{*}, 한승연¹, 남궁경¹, 윤경구¹
¹강원대학교 토목공학

Construction Method and Durability Evaluation of Mock-up Test for Bobsleigh Track

Kyeo-Re Lee^{*}, Kyeong Nam-Gung¹, Seung-Yeon Han¹, Kyong-Ku Yun¹
¹Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University

요 약 본 연구는 동계올림픽의 대표적인 종목인 봅슬레이 경기장 건설을 위한 봅슬레이 트랙 실물크기 모형제작 방법 및 내구성 평가이다. 봅슬레이 경기는 속도감이 엄청나고 그 위험성 또한 대단히 높아 선수의 안전을 위한 안전설계와 고성능 슛크리트를 이용한 정밀 시공이 필수적이다. 또한 봅슬레이 트랙은 다양한 커브와 경사로 이루어져 있어 일반 거푸집 시공이 어렵고, 고강도 고내구성 재료를 통한 시공이 필요하다. 본 연구를 통해 개발 된 봅슬레이 트랙 실물크기 모형제작 방법 및 내구성 평가는 2018 평창 동계 올림픽 슬라이딩 센터 및 봅슬레이 트랙 건설을 국내기술력으로 시공하기 위함 이다.

Abstract This study examined the durability and method for making a mockup of bobsled tracks for constructing a bobsled stadium, which is a sport in the Winter Olympics. As bobsleigh games are very fast and dangerous, a safety design for players and a precise construction using highly efficient shotcrete is necessary. Moreover, a general molding construction is difficult because bobsleigh tracks are composed of various curves and slopes, and it is necessary to construct them using high-strength and high durability materials. The developed method for making a mockup and performing durability evaluation of bobsleigh tracks through this research will be applied in the construction of the 2018 Pyeongchang Winter Olympics Sliding centre and bobsleigh tracks using domestic techniques.

Keywords : Bobsled track, Durability, High strength, Mock-up Test, Shotcrete

1. 서론

얼음위에서 썰매를 이용한 경기인 봅슬레이는 속도감과 함께 위험한 경기 중 하나로 트랙은 선수의 안전을 위해 안전설계 뿐만 아니라 고성능재료 및 정밀시공이 이루어져야 한다. 특히 트랙은 다양한 커브와 다양한 경사도로 이루어져 있어 일반 거푸집 시공이 어렵고, 충격 및 동해저항성이 크게 요구된다[1]

본 연구에서는 실제 봅슬레이 트랙의 변환곡선 구간을 모사 하여 5m 길이로 축소 한 실제 크기의 Mock-up Test를 통해 봅슬레이 트랙의 시공방법 개발 및 내구특성을 평가 하였다.

다중곡면 구조물인 봅슬레이 트랙의 형태를 구성하기 위해 지그바 기술을 이용하여 냉동파이프와 철근을 배근하는 방식으로 봅슬레이 트랙의 전체적인 골조를 구성하였으며, 다중곡면 구조물에 일반적인 거푸집 또는 라이

본 연구는 국토교통부 건설교통기술지역특성화사업 연구개발사업의 연구비지원(13RDRP B066780)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Kyeo-Re Lee(Kangwon National Univ.)

Tel: +82-10-8255-0856 email: leekr@kangwon.ac.kr

Received October 19, 2015

Revised (1st November 20, 2015, 2nd December 2, 2015)

Accepted January 5, 2016

Published January 31, 2016

닝을 적용시킬 수 없기 때문에 내부 존치 및 매립형 철망거푸집 기술을 적용하여 슛크리트를 통해 시공하였다.[2]

또한 붓슬레이 경기는 썰매의 충돌이 빈번히 발생하고, 표면에 얼음을 얼리기 위해 지속적으로 극한 환경에 노출되기 때문에 강도와 동결융해 및 표면박리에 대한 내구성이 우수한 재료를 개발 하여 사용하였다.

실험 항목으로는 콘크리트의 기초물성을 평가하기 위하여 공기량 슬럼프 시험을 실시하고, 압축 및 휨강도 시험을 통해 재료의 강도특성을 평가한다. 내구특성 시험으로는 염소이온 침투 저항성, 동결융해 저항성, 표면박리 저항성 시험을 실시하였다.

Table 1은 기초물성 및 내구특성 평가항목 및 일정을 나타낸 표이다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 배합설계

고강도 슛크리트재료 개발목표에서 특징적인 것은 공기량을 슛팅 전·후 다르게 설정하여 펴핑성과 내구성을 동시에 확보하도록 하였으며, 혼화재료를 혼입하고 고강도와 고내구성을 갖는 구조용 슛크리트의 개발을 목표로 설정하였다[3].

한편, 현재 국내 슛크리트는 28일 압축강도를 21 MPa로 규정하고 있으며 이는 본 연구에서 설정한 40 MPa보다 이주 작으며, 또한 현재 국내 시방서에서는 내구성에 관한 항목들이 규정되고 있지 않음을 볼 수 있다[4].

스탕 전 공기량을 10 ~ 15 % 혼입하여 펴핑성을 개선하나 슛팅 후의 공기량을 3 ~ 6 %이하로 유지하여

강도와 내구성을 확보하고, 단위시멘트량을 460 kg/m³으로 결정하였으며 실리카폼을 시멘트 중량대비 8.7 %로 치환하여 장기강도 및 투수저항성 등의 내구성을 향상시켰다. 또한 팽창재를 결합바인더 중량대비 7 %로 치환하여 초기수축에 의한 균열을 억제할 수 있었다. 잔골재율은 리바운드량 저감을 고려하고자 75 %로 설정하여 경제성을 확보하였다. Table. 2와 같은 배합으로 재료를 개발하였다

2.2 슛크리트 타설 순서 및 타설 방법

2.2.1 붓슬레이 트랙 거치대 제작

먼저 붓슬레이 트랙 모형이 설치될 거치대를 설치해야 한다. 거치대의 목적은 붓슬레이 트랙의 좌우 벽체가 고정될 공간 확보 및 지게차 또는 크레인을 이용하여 모형 이동시 작업 환경을 확보하기 위함이다. 거치대는 H빔을 이용하여 제작되었으며, 벽체 배면으로 가해질 하중을 고려하여 견고하게 설계 및 제작 되었다. Fig 1은 본 실험크기 축소형 모형제작을 위해 제작된 붓슬레이 트랙 거치대 전경이다.

2.2.2 지그바 설치 및 냉동파이프와 철근 배근

지그바는 모든 철근과 냉동파이프, 철망 거푸집이 설치되는 매우 중요한 부재이다. 때문에 지그바 설치는 매우 중요하며, 최종적으로 ±5 mm의 오차를 유지하기 위하여 레벨측량을 실시했다.

지그바는 25 mm 철판을 레이저 커팅 하여 사용하였다. 지그바에는 가장 먼저 90 mm 간격으로 냉동파이프가 설치되며, 지그바를 기준으로 전면부에는 격자 형태로, 배면에는 십자 형태로 10 mm 철근을 각각 100 mm 간격으로 배근했다. 특히 배면 철근은 횡방향 철근을 먼저 배근한 뒤, 종방향 철근을 배근하여 향후 철망거푸집

Table 1. Development Plan of Shotcrete for Bobsled track

Test item	Unit	Target	Note	Test
Slump Test	m	70 ~ 130	Fresh	KS F 2402
Air content	%	10 ~ 15	Before Shooting	KS F 2421
		3 ~ 6	After Shooting	
Compressive strength test	Pa	40 or more	Age 7, 28 Days	KS F 2405
Flexure strength test	MPa	5.0 or more	Age 28 Days	KS F 2408
Rapid chloride ion permeability test	Coulombs	> 1000	Age 28 Days	KS F 2711
Surface delamination resistance	Rating	1~2	Age 28 Days	ASTM C 672
Freezing and Thawing Test	%	80 or more	Age 28 Days	KS F 2456

Table 2. Mixing properties of Shotcrete for Bobsled track

Gmax (m)	Slump (mm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m)				AEA (%)	SP (%)
					W	B	S	G		
10	70~130	10~15	40	75	184	460	1,322	436	0.03	0.3

설치가 용이하도록 하였다.

Fig. 2는 냉동파이프 및 철근 배근이 완료된 봅슬레이 트랙의 모습이다.

2.2.3 거푸집 및 철망거푸집 설치

바닥면과 헤드부는 목재 거푸집을 설치하였다. 곡선부의 경우 목재거푸집을 이용할 수 없기 때문에 철망거푸집을 이용하였다. 철망거푸집은 슛크리트 타설시 리바운드량을 줄여주고, 내부를 밀실하게 충전시키는 역할을 한다. 하부 철근에 마디(리브)를 결속선으로 연결하여 일체화 시키는 방식으로 시공하였다.

2.2.4 규준틀 설치

규준틀은 최종적으로 슛크리트를 타설 한 뒤 피복두께가 일정하게 미장 할 수 있도록 설치하는 일종의 간격재이다. 규준틀은 28 mm PB관에 테이프를 이용하여 2 mm 두께를 증가시켜 30 mm가 되도록 하여 설치하였다. 슛크리트 타설이 용이하도록 상부와 하부에 번갈아 설치되며, 본 Mock-up Test와 같은 직선구간에서는 1 ~ 1.5 m 간격으로 설치되어도 문제가 없다. Fig. 3은 규준틀 설치 전경이다.

2.2.5 철근 배치형태 및 간격 검측

본 시공에 초빙된 국내의 전문가가 슛크리트 타설에 앞서 기초 및 배근작업이 완료된 봅슬레이 트랙의 철근 배치형태 및 간격을 검측했다. 철근 배근은 전면부 경사 배근 간격 100 mm, 후면부 직각배근 간격 100 mm으로 배근하여 냉동파이프, 철망거푸집을 포함한 부재두께가 160 mm 이내에 모두 들어와 만족하였다. Fig. 4는 검측 장면이다.



Fig. 1. Foreground of Holder



Fig. 2. Foreground of Installed Rebar



Fig. 3. Foreground of Installed Standard Pipe



Fig. 4. Reinforced state checking

2.2.6 슛크리트 타설

실물크기형 폼슬레이 트랙은 시공이음을 형성하지 않고 당일 타설되었으며, Fig. 5와 같은 순서로 타설을 진행하였다. 바닥면과 벽체 코너부에 최초로 타설을 시작하여 바닥부, 벽체, 헤드부, 1차 2차타설, 면마무리의 순서로 진행된다.

바닥면을 타설할 때는 배근된 철근이 50 %정도만 보이도록 1차 타설을 실시하는데, 슛팅이 진행되는 동안 Fig. 6과 같이 공기압을 이용해 리바운드를 지속적으로 제거해 줘야 한다.

상·하 헤드부는 공기압을 낮게 하여 슛팅 하였고, 바이브레이터를 이용하여 진동다짐을 실시하는데 균일한 간격으로 진동 다짐을 실시해야 한다. Fig. 7은 진동다짐하는 장면을 나타낸 사진이다.

마지막으로 2차 표면 타설을 실시하는데, 기존 1차타설이 진행 된 표면에 규준틀 이상 슛크리트를 타설하여 최종적으로 슛크리트 공정을 마무리 하게 된다. Fig. 8은 2차 표면 타설을 실시하는 장면을 나타낸 사진이다.

2.2.7 내구성 시험용 시험편 제작

압축강도 및 내구성 시험을 실시하기 위하여 500 × 500 mm의 패널을 제작하여 코어링을 통해 압축강도 몰드를 제작하였으며, 휨강도 및 동결융해 시험을 실시하기 위해 460 × 460 mm의 패널을 제작하고 컷팅하여 실시했다. Fig. 9는 공시체를 제작하는 장면을 보여주는 사진이다.

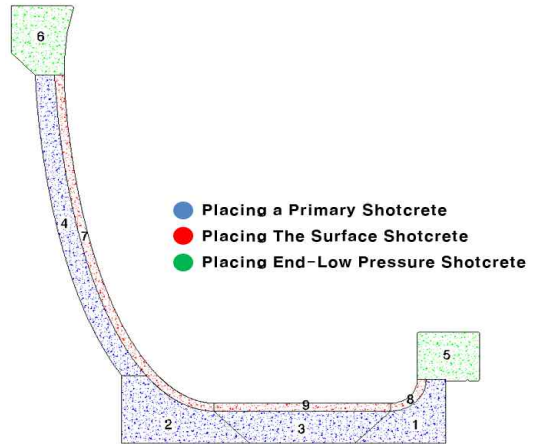


Fig. 5. Placing Sequence of Shotcrete



Fig. 6. Rebound elimination using air



Fig. 7. Vibrofloatation using vibrator



Fig. 8. Placing a secondary surface shotcrete



Fig. 10. Screed finishing



Fig. 9. Molding production for durability test

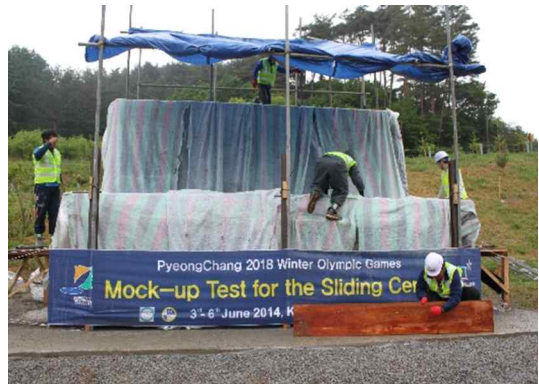


Fig. 11. Moisture curing

2.2.8 규준틀을 이용한 면 잡기 및 표면 마무리
 슷팅이 끝나면 상부 철근 위로 설치된 직경 30 mm의 PB관을 규준틀로 하여 면잡기를 실시한다. 이것은 봅슬레이 트랙 면이 균일한 두께로 타설될 수 있도록 직선부의 경우 1 ~ 1.5 m 간격으로 설치되며, 표면에 얼음을 형성시킬 때 냉동파이프의 효율을 고려하여 결정되어진다. 면잡기가 끝나면 규준틀을 제거하고, 제거된 부위는 콘크리트를 이용하여 되메우기 한다. Fig. 10은 규준틀을 이용한 면 잡기 장면이다.

2.2.9 습윤양생

최종 면마무리가 끝난 뒤 젖은 부직포로 표면을 덮어 살수하여 습윤 양생을 실시하며 별도의 양생제는 도포하지 않는다. Fig. 11은 습윤양생을 실시하는 장면을 나타낸 사진이다.

2.3 시험방법

2.3.1 슬럼프 및 공기량 시험

굳지 않은 콘크리트의 반죽질기를 판단하기 위하여 슬럼프 시험은 KS F 2402(콘크리트의 슬럼프 시험방법)의 규정에 의거하여 수행하였다[5].

굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험은 KS F 2421(굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법)의 규정에 의거하여 수행하였다[6].

2.3.2 압축강도 시험 및 휨 강도

콘크리트의 성능평가를 위한 기본적인 자료로서 중요한 의미를 가지는 압축강도 시험은 500 × 500 mm의 패널에서 코어링을 통해 제작된 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)규정에 따라 측정하였다. 콘크리트 휨 강도 시험은 460 × 460 mm의 패널에서 컷팅을 통해 제작된 100 × 100 ×

460 mm의 각주형 공시체를 KS F 2408(콘크리트의 휨 강도 시험 방법) 규정에 의거, 3등분점 재하법으로 측정하였다. 압축강도 시험의 경우 재령 7일, 28일에 휨 강도 시험의 경우 재령 28일에 실시하였다. 최대하중 100톤의 만능시험기(UTM)을 이용하여 측정을 하였다[7,8].

2.3.3 동결융해저항성

동결융해저항성 실험은 KS F 2456 A Type에 따라 공기중 급속 동결 수중 급속융해의 방법으로 실시하였으며 이때 공시체 중심에서의 온도를 동결시 -18 °C, 융해시 4 °C로 상승시키는 것을 1 사이클 4시간으로 하여 반복 수행하였다. 각 시험체는 300 사이클을 원칙으로 수행하나 시험체의 상대 동탄성 계수가 60 % 이하로 되는 경우 시험을 종료하였다. 이 동결융해저항성 실험은 콘크리트가 충분히 포화되어 있지 않고 동결융해에 대한 충분한 저항성을 가진 골재가 사용되어 있을 경우, 심각한 동결융해에 의한 손상이 일어나지 않는다는 가정이 내포되어 있다. 본 연구에 사용된 동결융해 시험기는 동결융해 과정을 자동으로 제어할 수 있으며, 이는 공시체의 온도, 냉각공기의 온도 및 융해수의 온도를 제어하면서 수행되었다. 동탄성계수 측정방법에는 크게 고유진동수에 의한 방법과 초음파속도법에 의한 방법이 있다. 초음파속도법에 의한 측정방법은 손쉽게 측정할 수 있는 반면 초음파가 통과하는 면의 폭이 15.2 ~ 20.3 cm 이상이 되어야하기 때문에 7.5 × 10 × 40 cm의 각주형 시험체를 사용한 본 연구에서는 초음파속도법으로 측정하여도 무방하나, 본 연구에서는 고유진동수에 의한 측정법을 이용하여 동탄성계수를 측정하였다[9].

2.3.4 표면박리저항성

표면박리저항성 실험은 ASTM C 672에 규정하고 있는 제빙염(CaCl₂)에 노출된 콘크리트 표면의 동결융해에 의한 표면박리저항성 실험방법에 따라 실시하였다. 이 실험방법은 동절기에 도로의 제설재로 제빙염을 사용하고 있다는 점에서 콘크리트의 동결융해 저항성을 잘 나타낸다는 장점을 지니고 있다. ASTM C 672 규정에서는 직사각형의 콘크리트 공시체의 최소면적이 적어도 460 cm²(75 in²)이 되어야 하고, 두께가 7.5 cm(3 in) 이상이 되어야 한다고 제안하고 있다. 따라서 본 실험에서는 200 × 250 × 100 mm의 직사각형 공시체를 제작하여 28일 기건양생 후 실험을 실시하였다. 시험편은 콘크리트

연마기를 이용하여 표면을 평평하게 하였으며, 시험편 표면 가장자리에 높이 6 mm 정도의 고무로 벽을 만들어 4 %의 염화칼슘 용액을 공시체 표면에 유지를 시켰다.

시험편은 50일동안 -17 ± 1.7 °C에서 16 ~ 18시간 동안 동결 시킨 다음 23 ± 1.7 °C, 상대습도 45 ~ 55 %에서 6 ~ 8시간동안 유지시켰으며, 이것을 1사이클로 하는 동결융해 사이클을 진행시켰다. 5사이클마다 새로운 염화칼슘 용액으로 교체를 하였으며, ASTM에서 제시한 규정에 따라 표면박리 저항성에 대한 분석을 실시하고, 표면박리 저항성의 정량적 해석을 위하여 시편에서 박리되는 양을 측정하여 비교분석하였다.

ASTM에서는 동결융해 50사이클 후에 표면박리에 의한 부피 손실이 100 g/m²을 초과하지 않는다면 표면박리 저항성에 충분한 콘크리트로 평가하고 있으며, Table 3과 같이 박리량 등급을 구분하고, Table 4와 같이 시각적으로도 평가하고 있다[10]

Table 3. Visual grade of surface scaling

Rating	Condition of Surface
0	No Scaling
1	Very light scaling
2	Slight to moderate scaling
3	Moderate scaling
4	Moderate to severe scaling
5	Severe scaling

Table 4. Grade of surface scaling

Scaling Contents(g/m ²)	Rating
100 <	Very Good
100 ~ 500	Good
500 ~ 1,000	Acceptable
< 1,000	Unacceptable

2.3.5 염소이온 침투 저항성 시험

염소이온 침투 저항성 시험은 구조물의 염화물 침투성의 정도를 파악하기 위해 수행되어지는 중요한 내구성 관련 시험이다. 본 연구의 목적인 붓슬레이 트랙 시공용 숏크리트는 사계절 내내 물과 얼음에 노출되어 있기 때문에 더욱 중요하게 확인·검증되어야 한다.

일반적으로 높은 압력의 물을 강제 침투시켜 Darcy의 법칙에 의해 투수계수를 측정하는 방법이 있으나 조직이 치밀한 콘크리트의 경우에는 침투되는 수량이 극히 적으며 시험에 장시간이 소요된다는 단점이 있다. 따라서 본

연구에서는 염소이온의 침투를 전압차에 의하여 촉진하는 시험법을 채택하였고 염소이온의 침투 저항성을 측정함으로써 각 배합의 투수성을 알아내는데 그 목적이 있다.

염소이온 침투 저항성 시험은 KS F 2711 (전기 전도도에 의한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성 시험방법)에 의거하여 수행하였다.

산정된 총 전하량으로 염소이온 침투 저항성에 대하여 비교·분석한다. 다음 Table 5는 KS 규정에서 제시한 산정된 전하량으로 염소이온 침투 저항성과 비교하는 자료를 제시한 것이다[11].

Table 5. Resistance to chloride ion penetration

Coulombs	Rating
4,000 <	High
2,000 ~ 4,000	Moderate
1,000 ~ 2,000	Low
100 ~ 1,000	Very Low
< 100	Negligible

3. 실험결과

3.1 슬럼프 및 공기량 시험결과

숏팅 전 슬럼프는 100 mm로 측정되어 목표 슬럼프를 만족하였다. 공기량은 숏팅 전 공기실 압력방법의 최대 측정치인 10 % 이상을 나타냈으며, 숏팅 후 4 %로 측정되어 목표를 만족하였다.

3.2 압축강도 및 휨강도 시험결과

압축강도는 재령 7일, 28일 휨강도는 재령 28일 실시하였다. 재령 7일 37.0 MPa과 28일 47.9 MPa로 측정되어 목표 설계기준 강도인 40 MPa을 만족하는 것으로 나타났다. 재령 28일의 휨 강도는 7.6 MPa으로써, 설계기준 강도인 5 MPa을 만족하였다. Fig. 12는 재령일에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다.

3.3 동결융해 저항성 시험 결과

동결과 융해에 반복적으로 노출 되는 봅슬레이 트랙의 특성 상 동결융해 저항성 확보는 반드시 필요한 실험으로, 시험 결과 Fig. 13과 같이 상대동탄성계수가 300 사이클이 지난 후에도 목표로 했던 85%를 상회하는 95%라는 높은 값으로 나타나 동결융해에 대한 저항성

이 매우 우수한 것으로 확인되었다.

3.4 표면박리 저항성 시험 결과

표면박리 저항성 시험은 먼저 표면의 시각적 상태를 평가하고, 박리량에 따른 평가기준을 평가 하게 된다. 표면 시각적 상태에 따라 박리된 곳이 없으므로 ‘1 등급’을 만족하는 것으로 나타났고, 박리량은 50 Cycles 경과 후 160 g/m² 으로 나타나 500 g/m² 이하인 ‘Good’ 등급으로 평가되었다 Fig. 14는 박리량을 나타내며, Fig. 15는 시험종료 후 표면 상태를 나타낸다.

3.5 염소이온 투과 저항성 시험 결과

염소이온 투과 저항성 시험은 KS F 2711에 의거 재령 28일에 시험 되었다. 시험 결과 611 Coulombs 으로 나타나 판정기준에 따라 염소이온 투과저항성 시험 결과 ‘매우 낮음’을 만족하는 것으로 나타났다.

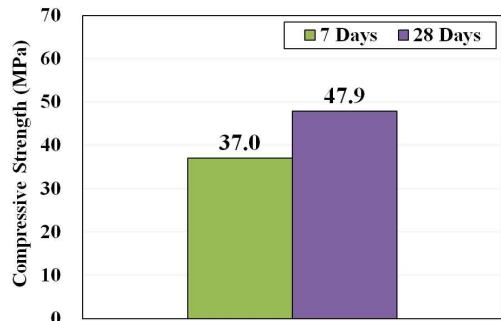


Fig. 12. Result of Compressive strength

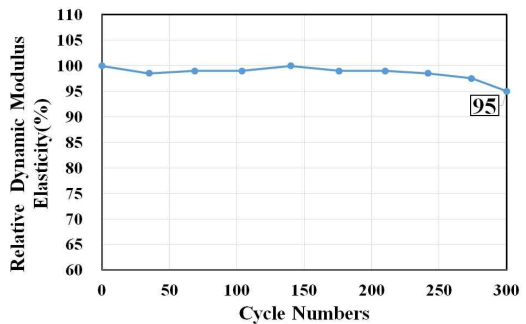


Fig. 13. Result of freeze-thaw resistance

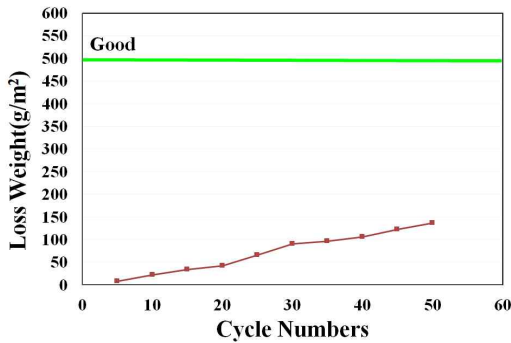


Fig. 14. Result of surface scaling



Fig. 15. Surface condition after finishing test

4. 결론

본 연구에서는 2018 평창 봅슬레이 트랙 시공을 위한 첨단시공기술 개발을 위해 실물크기형 Mock-up Test를 진행하였다. 고성능 고내구성 슛크리트 재료를 이용한 첨단 시공기술을 통해 시공된 봅슬레이 트랙의 역학적 특성 및 내구성 시험을 통해 현장적용성을 평가하였다.

뿐만 아니라, 굳은 후에는 고강도와 충분한 공기량 확보로 동결융해저항성 확보, 수밀성을 가지고 있어 투수 저항성 확보가 가능한 높은 내구성질을 가져야한다. 또한 염소이온투과저항성과 같은 내구성질을 평가하여 이들의 상관성을 분석하였다. 이 실험의 종합적인 결론을 다음과 같이 나타내었다.

1. 시공성 평가 결과 본 연구를 통해 제안된 슛크리트 재료는 막힘없이 직경이 작은 호스를 이송할 수 있는 우수한 펌프성능과 저리바운드 타설이 가능하다. 또한 충전성이 뛰어나 철근주변에 공극이 최소화 되어 우수한 시공성능을 보였다.

2. 압축강도 및 휨 강도 시험 결과 목표로 했던 재령 28일 압축강도 40.0 MPa를 상회하는 47.9 MPa로 나타났으며, 휨 강도 역시 목표인 재령 28일 5.0 MPa를 상회하는 값인 7.6 MPa로 나타나 매우 우수한 강도특성을 보였다. 또한 재령 56일 이후 강도 변동은 크지 않은 것으로 나타났다.
3. 동결융해저항성 시험의 상대동탄성계수는 300사이클이 지난 후에도 95%로 매우 우수한 결과가 나타났으며 표면박리 저항성 실험의 경우 50사이클이 지난 후에도 단위면적당 누적 표면박리량은 160 g/m²라는 낮은 값으로 나타나 “Good” 등급에 만족하는 것으로 확인되었다. 또한 염소이온 침투 저항성 시험은 1000 Coulombs 이하 “매우 낮음” 등급을 만족하였다. 봅슬레이트랙이라는 사용목적의 특성상 가장 중요한 동결융해, 표면박리저항성 시험 및 수밀성에서 매우 우수한 결과가 나타나 봅슬레이트랙으로써 효과적인 재료라 판단된다.

References

- [1] HONG Young Ho, Master’s thesis of Engineering, Graduate school of Kangwon National University “Analysis of Bobsleigh Track Mock-Up Test Results with High Performance Shotcrete”, 2014
- [2] Nordstrom, E., Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Sweden, “Durability of sprayed concrete (Steel fiber corrosion in cracks)”, 2005
- [3] MORGAN D.R., KIRKNESS A. J., MCASKILL N., DUKE N., Reprinted, with permission, from Cement, Concrete and Aggregates, “Freeze-Thaw Durability of Wet-Mix and Dry-Mix Shotcretes with Silica Fume and Steel Fibres”, Vol. 10, No.2, 1988
- [4] Road construction standard specification, 2009
- [5] KS F 2402, KS, “Method of test for slump of concrete”, 2007
- [6] KS F 2421, KS, “Method of test for air content of fresh concrete by pressure method”, 2006
- [7] KS F 2405, KS, “Standard test method for compressive strength of concrete”, 2010
- [8] KS F 2408, KS, “Method of test for flexural strength of concrete”, 2010
- [9] KS F 2456, KS, “Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing”, 2013
- [10] ASTM C 672, ASTM “Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals”, 2009
- [11] KS F 2711, KS, “Testing method for electrical indication of concrete’s ability to resist chloride ion penetration”, 2002

이겨레(Kyeo-Re Lee)

[정회원]



- 2011년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학학사)
- 2013년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 (박사과정)

<관심분야>

토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장

윤경구(Kyong-Ku Yun)

[정회원]



- 1992년 2월 : 미국미시간주립대학 토목공학석사
- 1995년 2월 : 미국미시간주립대학 토목공학박사
- 2000년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 교수

<관심분야>

토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장

한승연(Seung-Yeon Han)

[정회원]



- 2012년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학학사)
- 2014년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 (박사과정)

<관심분야>

토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장

남궁경(Kyeong Nam-Gung)

[정회원]



- 2010년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학학사)
- 2012년 2월 : 강원대학교 토목공학과 (토목공학석사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 강원대학교 토목공학과 (박사과정)

<관심분야>

토목, 숏크리트, 콘크리트 구조물, 도로포장