

인천월드컵경기장 노출 콘크리트 시공사례

- Products & Execution of Exposed Concrete of Incheon Stadium -



윤여진*

1. 서 언

인천문학경기장은 인천시 남구 문학동 산 8번지 일대 44만 1,628㎡(13만 3,592평) 대지 위에 약 5만 2,000석 규모의 주경기장과 3만석 규모의 야구장 및 실내수영장, 실내체육관 및 4,600대 규모의 지하주차장으로 시공된 종합 스포츠 타운이다.

1994년 발주당시는 1999년 전국체전을 목표로 하였으나 1998년 월드컵의 국내유치가 확정되고 인천문학경기장이 월드컵경기장으로 확정되면서 국제규격 및 FIFA의 시설요구에 충족하는 경기장으로 설계변경되었으며 1998년 상암경기장과 함께 월드컵 주경기장을 놓고 경쟁하기도 하였다. 이러한 여건상 초기에 착공은 하였으나 개막 전 준공하는데 어려움이 많았다.

본고는 어려운 과정과 여건 속에서 마무리한 주경기장의 골조공사에 대하여 조금이나마 다른 건설현장시공에 도움이 될 수 있었으면 하는 마음에 펜을 들었다.

2. 주경기장 구조

* 인천문학경기장 총괄소장, 성지건설(주) 이사

표 1. 공사개요

시설명	건축면적(㎡)	층수	수용인원	비고
주경기장	95,226(28,806평)	1/5	52,719인	제1종 공인 육상 경기장, 천연 잔디 구장(장축: 188 m, 단축: 124 m) 골조: RC, PC, 지붕: 철골, 케이블, 막구조
야구장	37,524(11,351평)	1/4	30,000인	센터라인: 125 m, 좌우파울라인: 100 m
실내수영장	22,229(6,724평)	1/4	8,200인	2002년 이후 건립
실내체육관	24,136(7,301평)	1/3	10,900인	2002년 이후 건립
다목적경기장	1,539(465평)	-	5,000인	105 × 68 m 잔디구장, 8레인 육상트랙
지하주차장	105,317(31,858평)	4/1	3,321대	육외주차: 1,238대 포함 총 4,559대
합계	285,971(86,505평)	-	106,279인	-

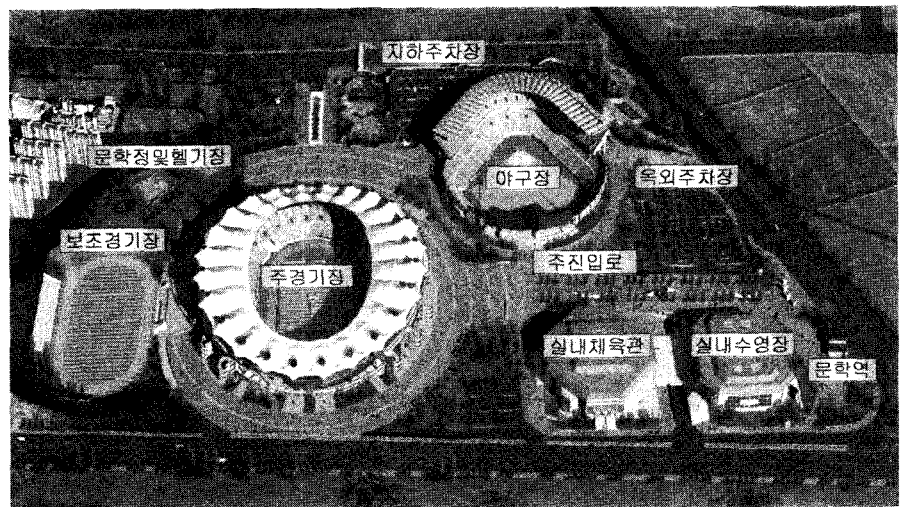


사진 1. 전체 배치 사진

인천문학경기장의 주경기장은 지하 1층 구조로 되어있으며 관중석인 스탠드는 PC 지상 5층이며 하부골조는 철근 콘크리트 구조로 되어있고, 상부구조는 기둥은 스틸

구조이며 지붕은 케이블 + 막(PTFE) 구조로 되어있다.

하부 콘크리트 구조물은 8개소의 팽창 줄눈(expansion joint)로 분리되어 있으며 하부구조 위에 설치된 PC 스탠드 역시 팽창 줄눈으로 분리되어 있다. 그러나 상부구조인 지붕은 일체식으로 되어 있으며 기둥은 이동식 공법으로 지붕은 리프트 업(lift up) 공법으로 시공되었다.

기둥의 이동식 공법은 최초 기둥설치 위치가 지붕의 케이블 및 막 구조물이 리프트 업 되면서 최장 1.4m 자동 이동하여 본 위치에 설치되는 국내는 물론 세계적으로 최초로 시공된 공법이다.

3. 주경기장 골조공사 시공방법

주경기장 골조공사를 시공방법을 기초 시공, 골조공사 시공공법, 존(zone) 구획 등으로 간단히 기술하겠다.

3.1 기초시공

인천문학경기장은 문학산 2개봉에서 발생된 600만 m³의 토석을 들어내고 자리잡은 주경기장은 약 50m 높이의 산을 절취하고 그 자리에 시공했다. 토석 절취는 발파공법을 선택하였고 독립기초로 되어있는 기초 터파기 역시 암 강도상 발파공법을 선택하여야 만 터파기가 가능했다.

발파에 의한 터파기 과정에서 발생된 기초저면의 굴곡면과 균열발생 암처리에 어려움이 많았다. 설계상 지내력이 풍화암 지반은 100 ~ 200 t/m², 연암지반은 200 ~ 400 t/m²를 가정하여 설계되어 있어 over cutting된 굴곡면 처리를 토사로 채우기는 부동침하가 우려되어 발파잔재를 깨끗이 청소한 후 암반 위에 직접 기초를 시공했고 기초저면의 암 굴곡에 의한 기초 구조물의 파손, 균열의 방지를 위하여 굴곡면은 기초와 동일강도인 압축강도 240 kg/cm²의 버림 콘크리트를 타설 충전후 그 위에 기초를 시공하였다. 기초저면에 발생된 발파과정에서의 심한 암반균열은

파석제거, 균열부위 그라우팅 등으로 보강후 기초를 시공하였다.



사진 2 기초저면

3.2 골조공사 시공방법

주경기장은 철근 콘크리트 구조물의 노출부위 전체가 노출 콘크리트로 설계되어 있다. 때문에 노출 콘크리트 품질확보와,

대형 구조물 시공에서의 안전성을 고려하여 기둥과 슬래브 분리시공 공법을 선택하였다. 기둥과 슬래브 분리시공 방법은 1차적으로 기둥 콘크리트 타설후 충분한 양생과 거푸집 해체후 2차적으로 거더와 슬래브 거푸집을 시공하고 콘크리트를 타설하는 시공 방법이며, 대형 구조물에서 안전성이 요구되고 품질확보가 요구되는 노출 콘크리트 시공시 적합하다고 판단하여 선택하였다. 그러나 공사기간이 추가 소요되고 공사비의 추가투입이 단점이다.

3.3 시공 존(zone) 구획

주경기장의 전체 라운드는 외부쪽 구조물 길이가 약 1,000m이고 콘크리트 볼륨 역시 기둥이 2,500 × 1,000 mm, 랙커

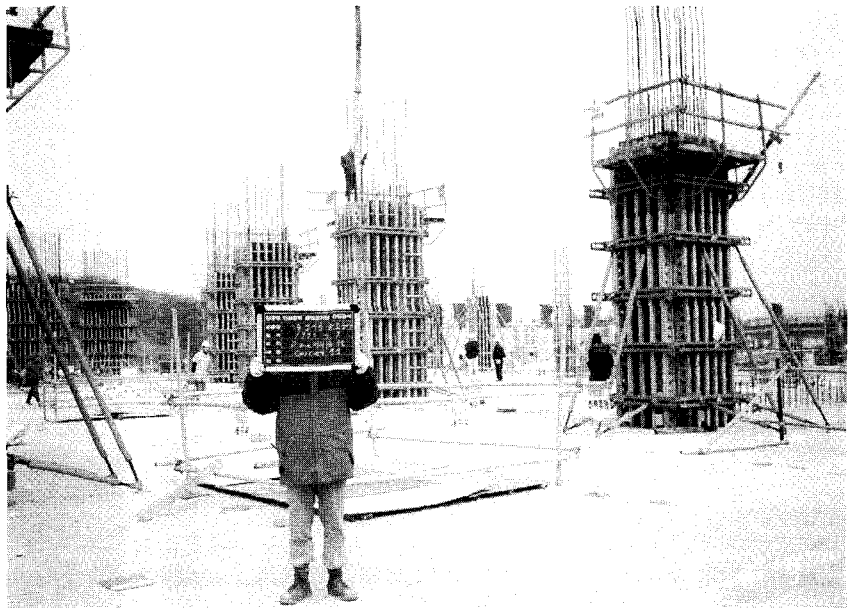


사진 3 기둥 분리시공 세부 시공 사진

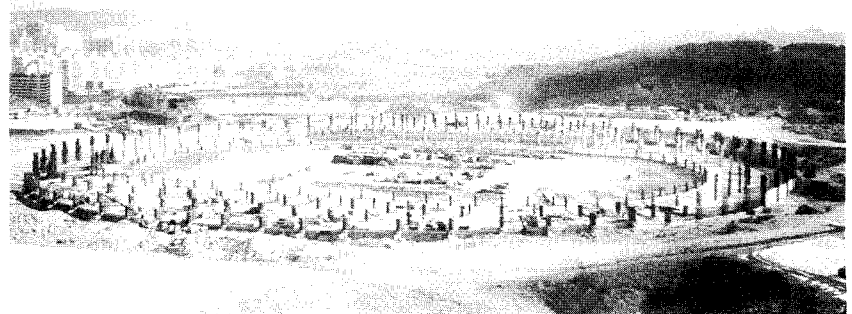


사진 4 기둥 분리시공 전경

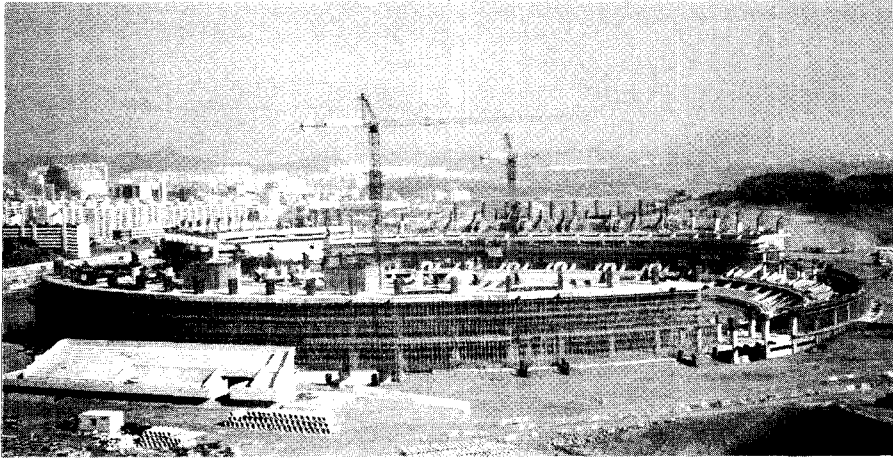


사진 5. 동서남북 대칭시공 전경

(racker) 거더가 2,000 × 1,000 mm인 장대형 구조물이다.

설계당시부터 온도변화, 주변환경, 외부 영향 등을 고려하여 8개소의 팽창 줄눈으로 구획하여 설계되었으며 시공과정에서도 설계에서 구획한 8개 존으로 분리시공 하였다. 그러나 장대한 구조물이고 자체하중이 크기 때문에 시공 과정에서 발생할 수 있는 구조물 전체의 편심에 의한 균열을 방지하기 위하여 구조물 시공팀을 2팀으로 투입하여 동서를 대칭으로 시공토록 하였으며, 다시 남북을 대칭으로 시공토록 하였다.

4. 노출 콘크리트 시공시 유의사항

일반 마감면이 있는 구조물의 콘크리트 타설이나 노출 콘크리트 면의 콘크리트 타

설이나 시공방법에서의 차이점은 크게 없다. 다만 현실을 감안하여 노출 콘크리트 면의 콘크리트 시공은 타설전, 타설중, 타설후와 양생과정 및 유지관리 전과정에서 최상의 품질이 되도록 시공전에 충분히 검토하고 원칙에 의거 시공하는 것만이 최선이다.

간단하고 원칙적이지만 야구장 상층부와 주경기장 전체 구조물을 노출 콘크리트로 시공했던 경험과 유의하였던 사항을 간단히 기술토록 하겠다.

4.1 콘크리트 타설전 유의사항

4.1.1 거푸집 구조계산, 거푸집 선택, 동바리 선택

노출 콘크리트 시공에서 콘크리트 면의 배부름 현상이나 타설중 거푸집의 변형은

실패원인이 된다. 실패를 방지하기 위하여 공사 착수전 콘크리트 타설중 발생하는 측압을 고려한 구조계산에 의거 거푸집 제작시 반영하고 타설중 발생할 수 있는 실패원인을 1차적으로 해결하고, 현장에 적합한 경제적이고 안전한 거푸집을 선택하여야 한다.

거푸집 구조계산시 별도로 동바리에 대한 구조검토도 실시하여야 한다. 동바리 구조검토시는 동바리가 지지하는 거푸집 면의 각도, 콘크리트, 철근, 거푸집의 하중, 콘크리트 타설시 추가되는 이동하중 등을 별도로 고려하고 동바리 종류를 선택하여야 한다.

인천문학경기장은 동바리가 지지하는 거더나 슬래브가 경사면이 많기 때문에 구조검토시 지지면의 각도 고려가 매우 중요하였으며 전체적으로 시스템 서포트를 사용하였고 중간에는 일반 서포트로 보강 조치하였다.

기둥은 FERI Form을 사용하였으며, PC 스텐드를 설치하기 위한 랙커 거더는 스틸 거푸집을 사용하였으며 공사기간 단축과 공사비 절감을 위하여 18 mm 2장을 겹친 코팅 합판 거푸집을 추가로 제작 병행하여 사용하였다.

4.1.2 레미콘 납품회사 사용 시멘트 및 골재 조정, 물-시멘트비 조정

노출 콘크리트 면은 콘크리트 표면이 콘크리트 자체상태로 노출되므로 양생후의



사진 6. 외부 시스템 서포트 설치 전경

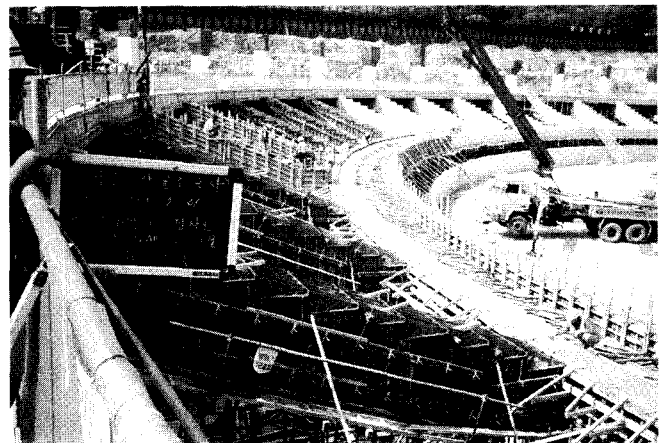


사진 7. 랙커 거더 시공 과정

콘크리트 색상에도 유의하여야 한다.

특히 시멘트는 생산회사, 원료 생산 지역별로 색상이 다르므로 여러 개 회사에서 레미콘을 공급받을 경우 시멘트는 동일 생산회사로 지정하는 것이 유리하다.

골재 역시 가능한 같은 재질로 사용하는 것이 노출 콘크리트 면의 색상과 품질 확보에 유리하다.

물-시멘트비는 콘크리트 타설전에 콘크리트 강도, 콘크리트 볼륨, 타설시기, 타설장비 등을 고려하여 사전에 검토후 조정하여야 된다. 된 콘크리트나 묽은 콘크리트는 재료분리의 원인이 되며 노출 콘크리트의 실패 원인이 될 수 있다

4.1.3 콘크리트 물량확보

콘크리트 타설중 장시간 중단될 경우 이어치기 부분에 발생된 쿨드 조인트가 그대로 노출되며, 타설중 생긴 콘크리트의 파편이 주변에 붙은채 시공될 수 있고, 제거한다 하여도 깨끗한 노출면을 확보하는 것은 불가능하며 많은 노력과 시간, 공사비가 낭비된다.

자체 배치 플랜트를 설치하여 운영하지 않고 외부 레미콘 생산회사에서 공급받아 타설할 경우 일일 부위별 타설량과 레미콘 납품회사의 생산용량을 사전 협의하여 콘크리트량을 확실히 확보후 타설하여야 한다.

자체 배치 플랜트를 사용할 경우 시멘트 확보, 골재확보, 배치 플랜트 점검, 정진대비, 전력 용량 확인 등 더 많은 주의가 요구된다.

4.1.4 철근의 간격유지, 피복유지

노출 콘크리트 품질은 콘크리트의 밀실 정도에 많이 좌우된다. 노출 콘크리트에서 철근의 간격 유지는 콘크리트의 원활한 흐름으로 재료분리를 방지하고 밀실한 콘크리트가 될 수 있게 한다.

특히 철근의 피복두께 유지는 철근 및 콘크리트를 보호하고 부착용력을 확보하여 노출면의 장기적 유지에도 매우 중요하다.

철근가공전 bar schedule을 만들어 최소간격 이하의 부분을 파악후 조정하며,

개구부는 추가 보강을 검토하고 bar support는 도금된 것을 사용하였다.

4.1.5 거푸집 밀실도, 평활도 유지

노출 콘크리트는 재료가 일정하게 혼합되어지고 혼합된 콘크리트가 얼마나 밀실하게 거푸집에 충전될 수 있느냐에 달려 있다.

거푸집 조립 불량이나 강도 미달 등으로 시멘트 풀이 거푸집 외부로 유출될 경우 재료분리에 의한 노출면 품질저하의 원인이 된다. 거푸집과 먼저 타설된 콘크리트면 및 거푸집 조인트 면이 밀실하게 유지되도록 하여야 되고 거푸집 설치전 표면의 청소상태, 박리제 도포상태, 이음면의 처리상태, 조인트면의 처리방안 등 시공전 검토 및 점검이 필요하다.

기둥은 밀실도 유지를 위하여 조인트면에 얇은 테이프, 맞댐 면은 양면 테이프 등을 사용하기도 하였으며 거푸집 맞댐 면을 대패질과 사포질 등으로 밀실하게 유지하였고 본드를 사용하기도 하였다.

4.2 콘크리트 타설중 유의사항

4.2.1 기둥 콘크리트 타설시 유의사항

층고가 높은 경우 콘크리트 흡바와 자바라 호스를 이용하여 하부에서부터 천천히 타설하여야 되며 콘크리트가 밀실히 충전되도록 봉 진동기와 대나무를 병행 사용하였고 거푸집 구석구석 콘크리트 시멘트 풀이 고루 충전되도록 외부에서 거푸집 진동기를 사용하여 타설하였으며 콘크리트 타설중 콘크리트 파편이 거푸집 표면에 튀어 묻지 않도록 유의하여야 한다.

4.2.2 거더 콘크리트 타설시 유의사항

랙커 거더는 경사진 거더이며 길이가 길기 때문에 거푸집 설치시 거더 상부면까지 거푸집을 설치했으며 중간에 4개소 정도 콘크리트 타설 구멍을 오픈시키고 하부에서부터 타설하였다.

랙커 거더 하부의 측압을 줄이기 위하여 하부 콘크리트 타설후 쿨드 조인트가

발생 안될 정도의 간격을 두어 2차로 상부로 이동시키는 방법으로 타설하였으며 콘크리트 타설이 마무리된 오픈된 구멍은 막아지며 상부로 타설해 가는 방법으로 시공하였다.

경사진 랙커 거더는 하부는 하부층에 상부는 상부층에 걸쳐 시공됨으로 2개 층의 기둥과 슬래브 콘크리트 공사가 거푸집 제거까지 완료된 후 랙커 거더만 별도로 분리 시공하였다. 슬래브가 없는 독립 거더이므로 콘크리트 타설을 위한 작업발판이 별도로 필요하였고 작업발판은 거더 거푸집과 분리되도록 하여 타설중 거푸집에 충격이 가지 않도록 하였고 안전 난간대와 함께 사용 할 수 있도록 계획 설치하였다.

4.2.3 슬래브 콘크리트 타설시 유의사항

슬래브 면을 흡집 없이 완벽한 노출 콘크리트로 시공한다는 것은 현실적인 면을 고려하면 거의 불가능에 가깝다. 이런 사유로 스탠드 PC 제품으로 설계변경 하였으며 통로부분과 최상층 외부 슬래브 부분만 부득이 현장 타설하였다. 그러나 충분한 시간과 사전검토로 가능한 노출면은 전체적으로 PC로 시공하는 것이 바람직하다.

부득이 현장타설 하여야 되는 부위는 거푸집 이음부위 처리에 유의하고, 이어치기를 배제하고(펌프키를 2대 이용) 콘크리트 파편이 주변에 묻지 않도록 유의하여야 하며 외부에서 거푸집 진동기를 이용하여 콘크리트가 밀실히 충전되도록 하여야 된다.

또한 슬래브 거푸집은 설치이후 철근베근, 매입물 설치, 전기, 통신배관 등 후속 작업으로 장시간 방치되는 경우가 발생되고 우기철에는 장기간 외기에 노출되어 거푸집 표면이 손상되므로 이점에도 유의하여야 한다.

4.3 콘크리트 타설후 유의사항

4.3.1 양생

노출 콘크리트 시공시 양생도 중요하다. 콘크리트 표면의 손상 및 균열은 노출 콘크리트에 치명적이기 때문이다. 콘크리트 강

도, 타설후 온도변화, 계절적 영향, 주변상황 등 콘크리트는 많은 것에 영향을 받는다. 요구강도가 유지되고 균열을 방지하기 위하여 적절한 양생 킴파운드와 봉합제를 사용하고 습윤양생과 온도유지를 해야하며, 진동이 가지 않도록 유의하여야 된다.

인천문학경기장은 부지정지를 위한 암 발파와 구조물 공사를 병행하여 시공한 현장이다. 암 발파가 콘크리트 구조물에 미치는 영향을 사전에 검토하고 발파가 콘크리트를 타설중인 콘크리트에 미치는 영향과 양생중인 콘크리트에 미치는 영향 및 주변 구조물에 미치는 영향을 사전에 충분히 검토하여 발파에 의해 콘크리트에 영향이 가지 않도록 유의하여야 한다.

공사기간이 길어진 이유중에 하나는 이러한 발파의 영향을 고려하였기 때문이다. 구조물 시공은 콘크리트 타설 일시를 발파일시와 조정하고 발파는 발파일시 및 발파공법을 조정하고 화약량과 천공량 깊이 등을 구조물에 영향이 최소화 되도록 조정하여 시공하여 공사기간이 길어졌다.

하지만 이런 다각적 노력으로 보다는 노출 콘크리트를 시공할 수 있게 되었다고 생각한다.

4.3.2 거푸집 탈영시

튼튼한 거푸집에 밀실히 채워진 콘크리트 구조물의 거푸집은 빈틈이 없게되고 거푸집의 빈틈을 만들기 위하여 구조물의 코

너를 손상시키면 노출 콘크리트 면이 파손된다. 노출 콘크리트 면의 손상을 최소화하기 위하여 양생기간을 충분히 유지시켜 실제 콘크리트 강도의 80% 이상시 해체를 시작하고 거푸집 해체 순서를 반드시 지켜야 되며 해체전 기능인력의 사전교육이 필요하다.

4.3.3 거푸집 탈영후

거푸집 탈영후 장기간의 마감을 위한 공사가 진행된다. 공사 진행중 인력에 의한 파손은 경미하나 작업을 위한 소형장비의 이동시 파손되므로 기둥이나 벽 등의 코너 부위는 합판 등으로 보양을 하는 것이 노출면을 끝까지 유지할 수 있다.

5. 재료분리 발생시 처리방법

노출 콘크리트에서 균열과 재료분리 발생은 치명적이다. 그러나 시공과정에서 균열을 100% 제어하고, 재료분리가 전혀 발생되지 않도록 한다는 것도 어려운 일이다. 인천문학경기장에서도 기둥, 락커 거더, 슬래브 등에 부분적인 재료분리가 발생되었으며 완벽한 방법은 아니나 노출 콘크리트 면을 가능한 유지시키며 재료분리 부위를 처리한 방법을 기술한다.

1차: 재료분리 부위를 파악후 동일시멘트와 본드 및 백시멘트를 일정비를 혼합하

여 시멘트 풀을 만든 후 시험 시공하여 양생후 기존 콘크리트 색상과 가장 유사한 색상의 배합비를 선택하였다.

2차: 배합비 결정후 재료분리 부위에 프라이머 도포후 시멘트 풀을 고르게 도포 충전시킨 후 양생시킨다.

3차: 양생후 샌드페이퍼로 갈아낸다. 재료분리가 한 면에 여러 곳일 경우 해당 면 전체를 도포후 전체를 갈아낸다.

4차: 미흡한 부위가 발생시 1, 2, 3차를 제시공한다.

6. 결 언

인천문학경기장 주경기장은 월드컵 16강을 확정지은 월드컵경기장이다. 그라운드에는 1년 12개월 푸르름을 유지하는 한지형 천연잔디를 시공하였고, 지붕은 경관 조명에 의해 아름다운 막의 형상을 드러내며 그 웅장함을 자랑하고 있다.

44만 1,628m²(13만 3,592평) 부지는 자연과 어루어진 조경 공간 속에 인천시민의 휴식과 오락과 만남의 장소가 되어있다. 주경기장을 처음 접한 시민들은 노출 콘크리트 면을 공사비나 아끼려는 시공사의 상술이나 관계자의 판단 잘못으로 오해하거나, 미완성 구조물로 오해했지만 월드컵 경기 이후 노출 콘크리트 구조물이 뿜어내는 웅장함과 자연스러움에 만족해하고 있다. 비록 최고의 품질은 이루지 못하였지만 최고의 품질을 위하여 노력한 결과라고 생각한다.

이웃 일본의 경우 놀라운 정도의 기술력으로 노출 콘크리트가 시공되어져 있으나 국내는 여러 가지 여건상 아직 미흡한 수준임을 자인 할 수밖에 없다.

이제 장기적인 유지관리 차원이나 경제적인 측면에서 산, 학, 연이 합심하여 노출 콘크리트 시공방법을 개선하고 발전시킬 필요가 있다.

인천문학경기장의 건설을 위하여 참여했던 인천시, 월드컵 조직위원회, 감리단 및 시공사 직원과 협력업체, 납품업체 모든 분들에게 감사드립니다. □



사진 8. 준공사진