

# 2002 월드컵 상암동 주경기장 골조공사 선행공정 관리기법에 대하여

- A Precedence Process Management Method of SangAm Main Stadium -



송도현\*

## 1. 서 언

치열한 경쟁속에서 유치된 2002년 한일월드컵은 국제적인 행사로 중요하게 인식되면서 IMF 여파에도 불구하고 국민의 공감대를 얻고 있었다. 그러나 공동 개최국인 일본과는 항상 특별한 관계로 일본에 비해 출발에서부터 준비사항이 너무도 늦어 우려의 목소리가 날로 증가하고 있었다. 따라서, 신규 종합 혹은 전용구장 프로젝트는 공사기간 단축이 최대의 과제로 등장하였다.

이에 대응방안을 모색하던 중 그 당시에는 제도마저 미비했던 설계·시공일괄계약(턴키)방식이 부각되었다. 특히, 상암동 월드컵 경기장은 버려진 땅의 활용과 환경친화적인 경기장 건설에 대한 도전이었고, 이는 시공 측면에서 쓰레기 매립지역인 난지도에 위치하여 부지조성공사에 다량의 파일 항타가 요구되었다. 또한 운동장 운영 효율 극대화를 위하여 월드컵 행사후 활용시설 확대를 위한 방안강구로 인해 부지조성공사 중에 설계변경이 발생하여 공

표 1. 상암동 주경기장의 개요

규 모	관람석 : 63,930석(아시아 최대 규모)
설계특징	한국의 전통미를 살린 디자인(방패연/황포 돛배)
	Universal Desing(장애자와 함께)
	환경친화적 건물(난지도 활용)
	사후 활용(운영 극대화)

기에 더욱 압박을 가해오고 있었다.

운동장 공사는 2개의 구심점을 축으로 하는 타원형 배열로 평면과 입체적으로 복잡성을 내포하고 있어서 설계와 공사에서 생산성 있는 반복생산제품이 극도로 적었으며, 더욱이 골조공사는 다량의 샵드로잉(shop dwg.)이 계속 요구되는 형편이었다. 또한 지붕(roof)공사 완료 전에는 우수에 대한 대책마련이 특히 강조되는 프로젝트였기 때문에 우기 전에 지하 골조의 완료와 지반 안정은 상부층 골조공사의 선행공정이었고, 이 상부층 골조공사는 동계를 이용하여 건식공법으로 시작하는 PC 스탠드 공사의 선행공정으로 동계 이전에 6개월 동안 집중관리를 요구하고 있었다. 이 PC 공정은 지붕 골조공사의 또한 선행

공정으로 압박을 받게 된다.

상암동 구장의 지붕공사는 황포 돛대가 모여 방패연을 이루는 전통적인 미적 디자인을 표현한 것으로써 대형 강관 마스트(Ø1.8m) 16개와 대형 강관 트러스, 인장 케이블 등이 조합된 3차원 공법과 시물레이션이 요구되었다.

다른 한편으로 지붕 시스템은 대형 장비가 필요한 공정으로 운동장 잔디공사의 선행공정으로 맞물려 있었다. 이는 장비철수시점의 정확한 공정관리 여부에 따라 잔디공사 착수시점을 판단할 수 있다는 의미다. 따라서, 우기 전 완료공사와 동계 전 완료공사를 확실하게 구분하여 선행공정의 분기점을 중점적으로 관리하는 요소가 경기장 골조공사의 핵심요소이다. 만일, 분기점에서 문제가 발생할 경우 최소한 2~3개월의 공기가 반드시 차질을 초래하게 되므로, 분기점 이전에 공정의 속

\* 한양대학교 겸임교수(現), 상암동 주경기장 현장소장(前)

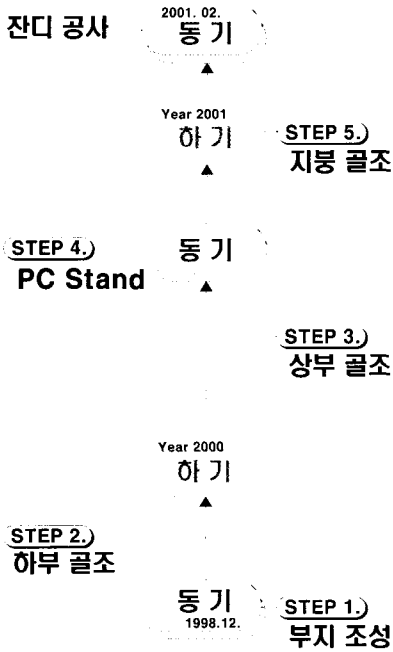


표 2 각 분기점별 핵심공사

도를 조절해야 하며 이에 수반되는 최소한의 돌관작업이 강행되어야 하는 때 분기점 관리방안에 대해서 기술하고자 한다.

## 2. Milestone Schedule

크게 5단계로 서로 선행공정을 유지하면서 하계/동계 계절과 기후에서 발생하는 공정지연의 문제점을 매 분기마다 매듭을 지어야 하는 각 분기점별 핵심공사는 <표 2>와 같다.

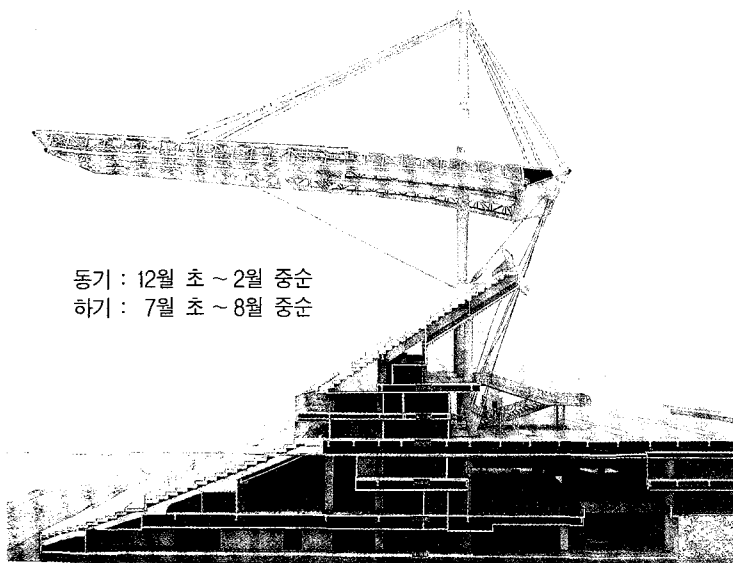


그림 1. 주단면도

## 3. 단계별 선행공정 관리

### 3.1 1단계

FAST TRACK(실시설계, 부지확정)/지하층 골조 선행공정

난지도 쓰레기 매립지역으로 부지조성공사에서 일부 토질 치환과 구조물 부분에는 다량의 파일 항타가 요구되었다.

1998년 11월 6일 기공식과 더불어 동계공사기간 중에 부지조성을 착수하였다. 토목공사기간을 이용하여 골조공사의 실시설계를 동시에 fast track으로 병행하여 1999년 3월초에 지하층 골조공사를 착수할 수 있도록 하였으며, 우기 전에 공사를 완료함으로써 공사추진에 원활한 기본틀을 마련하였다.

부지조성 및 파일 항타 공사 중 부지고(level)의 확정, 사후 활용시설 확충에 따른 설계변경 등으로 공기의 지연을 초래하였으나, 선행공정으로 공정관리정상화를 위하여 전체 부지를 4등분하여 각각의 공구는 독립적으로 진행함으로써 공사속도를 조절하였다. 또한, 서측 부지를 출발점으로 하여 서측 부지구간에서 발생될 수 있는 모든 문제점을 피드백(feed back)하였다. 이후 모든 선행공정은 동일한 방법으로 서측 부지에서부터 출발하면서 문제점을 찾았다.

공법진행은 허용지지력을 85 ton으로 상향 조정하면서 시공관리를 위한 set value를 결정하였다. 총 6,500본이 소요되는 파일 항타는 pre-augering 타입 공법으로 변경하여 시공속도조절과 품질을 향상시켰다. 즉, 1999년 3월에 지하층 공사착수와 5월 파일 항타 공사를 마무리하는 목표공정관리로 분기점 선행공정관리의 첫 단추로써 정형화된 틀 속으로 정착시켰다.

### 3.2 2단계

지하층 골조(RC) 공사(우기 전 마무리)/하부 철골공사 선행공정

성공적 fast track 운영으로 토목공사 중 확정된 실시설계일정에서 우선 지하구조물 설계 확정을 1999년 2월에 완료하여 서측 부지부터 골조공사를 착수, 6월 중순에 완료할 수 있었다. 촉박한 공기에 대한 해결방법으로 동측의 할인매장 슬래브는 무관공법으로 단순화시켰으며, 가급적 기타 부위도 모듈을 단순화한 재래식 골조공사를 계획하였다.

슬래브 거푸집은 non-support horry-beam을 1.8 ~ 4.0 m 스펠에 적용하여 현장의 청결과 신속한 작업을 유도하였다. 또한, 우기 전에 지하층 골조를 완성시켜 부지조성과 골조공사의 혼란스러운 현장분위기를 안정시켜 폭우로 인한 부지의 불균형 파괴를 방지하는 공정관리가 운동장 프로젝트에서는 중요한 요소였다.

상암동 경기장은 지하층 골조 공사 수행 중 코너 4개 부분에 대하여는 타원형 형태와 부채꼴 모듈로서 시공에 어려움이 많았다. 그러나, 이 불규칙한 형태의 스펠을 재래식 공법의 형틀에 적용하고 신규 합판 사용횟수를 1회 혹은 2회로 줄이면서 원가상승을 감수하더라도 공기를 단축하여 상부골조공사인 철골을 적기에 착수하게 되었고, 동계공사인 PC 스탠드 공정의 선행공정으로 원만하게 착수할 수 있게 하여, 결과적으로 프로젝트 측면에서는 경제적인 시공을 확보하게 되었다.

3.3 3단계

상부 골조(SRC) 공사(동계 전 마무리)  
/PC 스탠드의 선행공정

6월 중순 철골 설치공사를 착수하여 12월 말 마무리한 상부 골조(SRC) 공사는, 내측은 스탠드를 지지하는 경사구조로, 외측은 2층에서 3층의 데크 슬래브(deck slab)로 구성되었다. 총 철골 수요는 하부 철골로써 11,525 ton으로 2개 절로 구성하여 고장력 볼트에 의한 splice 방식으로 설치하였다. 6개월 공사기간동안 공장제작 및 설치를 완료하여야 되었으며, 이 하부 철골공사는 맞춤복과 같은 다량의 샵드로잉과 조건이 다른 소량의 작업이 다발적으로 요구되었으며, 이는 샵드로잉 작성시 공장제작과 현장여건을 충분히 반영되는 것을 요구하는 고난이도 작업이었다. 따라

서, 샵드로잉은 별도 TF 팀을 구성하여 3개월 동안 2부제 24시간으로 운영하였다.

공장제작은 중소 규모 공장이 600 ~ 1,000 ton/월 생산이었으므로 3개 공장을 선정하여 집중 관리하였다.

초기에 다량의 오제작이 발생하였는데, 이는 정보교환의 부재와 현장 파악의 미숙으로 인한 결과임을 인지하였다. 즉시 인원을 증원하여 공장에 상주시키고, 현장은 담당제로 업무를 고정시켜 그때 그때 정보교환을 하고 즉시 문제점을 피드백하여 원활하게 개선하였다. 필요에 따라 선행작업일 경우 24시간 전부를 돌관체제로 운행하기도 하여 공사속도를 조절하여 공기압박에서부터 탈출하였다.

시공 계획 검토시 RC 공정에서는 주 기둥 관련 공법이 최대 관건일 것으로 판단되었다. RC 공정은 2개의 업체를 독립적으로 투입하여 공정관리를 함으로써 품

질과 속도확보에 경쟁심을 유도하였다.

장주이면서 대형 사이즈의 기둥은 노출 콘크리트로 콘크리트 표면 품질확보가 중요한 관리항목으로 부각되었다. 따라서, 형틀의 박리제로서 에폭시 페인트 및 HD 필름 등에 대하여 샘플시공과 수차례의 검증을 거친 결과 에폭시 페인트가 우수성이 입증되었다. 또한, 형틀제거 후에 콘크리트 노출면에는 양생용 화합물(curing compound)로 면 보호를 실시하였다.

타설에서 대형장비가 소요되고 타설 콘크리트 물량은 소량으로 공사의 난이도 증가, 경제성 등을 고려할 때 노출 콘크리트의 설계도입은 효과면에서 신중을 기할 필요가 있다.

- 기둥: 대형사이즈 및 장주가 특징으로 도카(doka) 거푸집(4각), 철재 거푸집(원형)을 도입하여, 거푸집 긴결재 없이 V-H 분리타설 하였으며, 특히 노출 콘크리트의

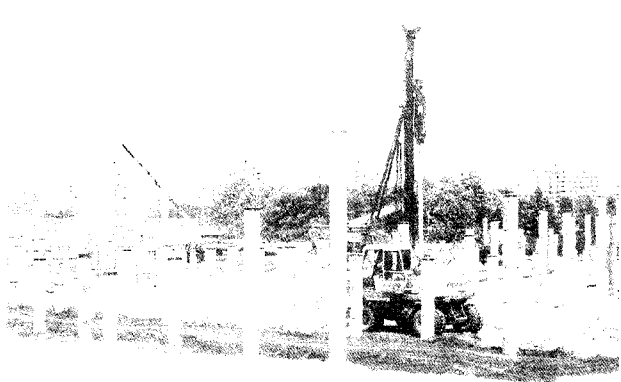


그림 2. 파일 향타

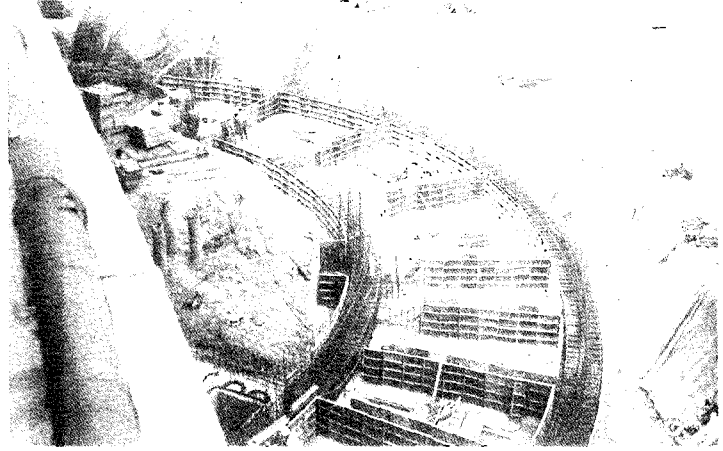


그림 3. 코너부분의 처리

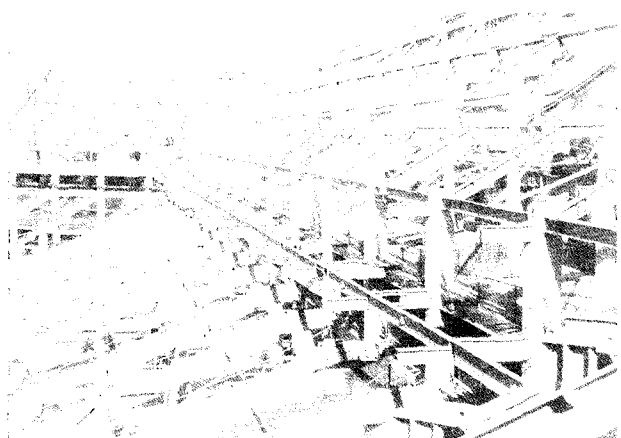


그림 4. 동측 스탠드 설치 모습



그림 5. 데크 슬래브

정교한 품질관리가 요구되었다.

- 데크 슬래브: 외랜 트러스형 데크 슬래브로 0.5mm 아연도 절곡 강판 입체형 이형 철근 트러스를 철선 5mm로 점용접한 일괄 공장 생산된 유닛 판넬이다. 이 공법은 서포터 없이 유닛화로 됴므로써, 성역화 공법의 일환으로 최소 인원이 적용되었으며, 동기 전에 데크 슬래브 완료목표 관리로써는 최적의 대안이었다. 이 공법은 현장의 청결, 품질 향상, 공기의 신속성 확보에 장점이 있으며, 보조 철근을 사용함으로써 이방향 슬래브도 가능하다.

- 철근: 조립식을 가급적 증가하는 것이 경제적이거나 운동장 프로젝트의 특수한 형태에 기인한 현상으로 65% 정도가 최적이었다. 따라서, 현장 가공 설치가 다른 건물에 비해 증가되는 편이었다. 이음에는 커플러를 사용하여 체결하고 조임 너트로 슬립이 발생하지 않도록 견고히 하였다.

- 경사보(lacker beam): 관중석 PC를 지지하는 구조체로써 1층(1단계)은 RC빔 그 이상(2~3단계)은 철골 빔으로 9.3m 간격을 유지하여 PC에 경제적인 모듈화로 접근하였다.

이 경사보는 정확한 치수관리가 요구되는 공법이기도 하였다.

### 3.4 4단계

PC 스탠드 공사/지붕 트러스 공사 선행공정

- 총 6,570 매(12,800 m<sup>3</sup>)
- PSC : 350 kgf/cm<sup>2</sup>(파라렛, 스탠드)
- PC : 270 kgf/cm<sup>2</sup>(소부재)

1999년 10월 중순에 서측에서부터 설치 착수하여 2000년 3월 중순에 완료하

였다. 이는 동계 기간을 최대한 활용한 건식공법으로 동계 기간에 상부 골조 공사의 선행공정 마무리를 동계 전에 강조하는 이 유가 여기에 있다.

PSC는 대형 패널로서 품질과 강도유지를 위하여 강연선 Ø12.7mm를 사용하여 상/하단을 1개 유닛으로 하는 대형 판넬로 구성하였다. 간격은 9.3m를 기본으로 경사보 위에 배치하였다. 따라서, 대형 판넬에 대한 운반, 장비선정, 솟음 유지, 시공절차는 정밀하게 검토 분석을 요구하고 있었다.

파라렛 PC 수직면의 철근 배근은 관람객의 진동과 심각한 연계가 되므로 PC공장의 제조과정에서 철근 배근은 직접 점검하여야 한다.

PC 공사중 대형 판넬의 솟음 유지와 PC 표면 품질관리, 고정 철물 브래킷 하단의 테프론 패드 품질, 8개소의 팽창 줄눈의 설계 및 시공관리가 시행착오를 범하여 즉시 개선하였다. 이는 운동장 프로젝트의 특성을 재검토하지 못한 채로 일반적으로 상용되는 전문업체와 설계의 의존도에서 나온 시행착오였다. 간단하게 생각한 상식이 중요한 시정사항으로 반성의 계기가 절실히 되었다.

PC 설치의 주요한 요소는 현장의 먼저 완성된 경사보의 경사도 유지였다. 4개소 부분의 코너 스탠드는 현장여건을 점검한 후 부재별로 별도 제작하여야 한다. 또한, 후속공정인 지붕 트러스 공사에 필요한 철골가설체의 지주 설치에 따른 공법선정은 대단히 중요하며, 설치방법/해체방법/구조적인 안정성 등에 관하여 검토되어야 하며, PC면 보호와 지붕공사진행으로 낙하물과 용접부산물 등에 의한 손상에 대하여 보양방법도 집중검토 되어야 한다.

선행공정 관리를 위하여 제작업체 2개사를 선정하여 골재 및 시멘트는 동일제품으로 사용하도록 하고, 하부에 방수가 없는 관계로 크랙은 0.05mm로 관리, 조인트 품질관리 등이 요점이었다. 특히 4면의 코너는 주문 생산식으로 개별생산에 주력하여 원가보다 공정관리, 공기단축에 주력하였다.



그림 6. 데크 슬래브 콘크리트 타설 모습

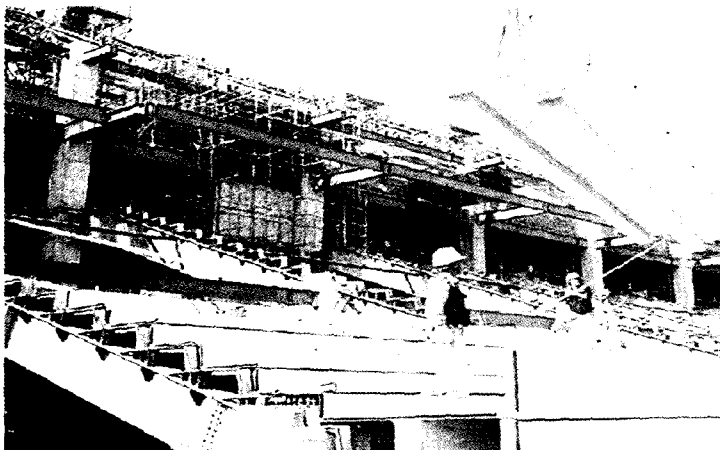


그림 7. PC 스탠드 부재 설치 모습

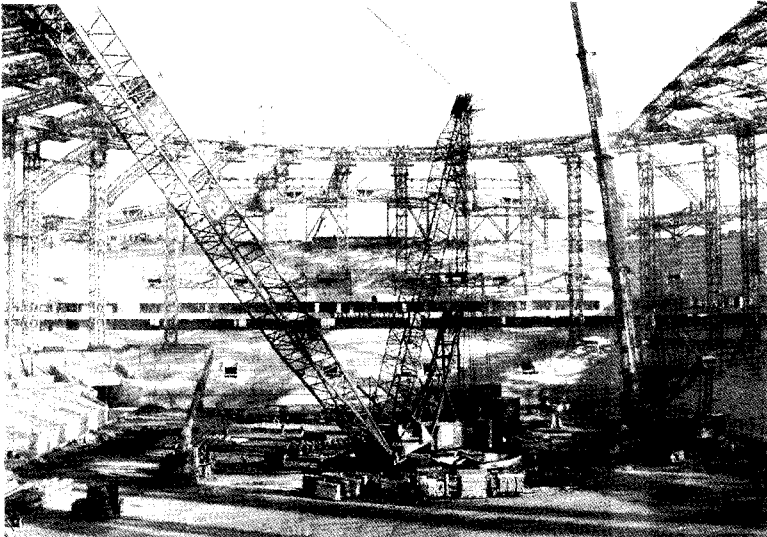


그림 8. 운동장 내부 크레인 설치 모습

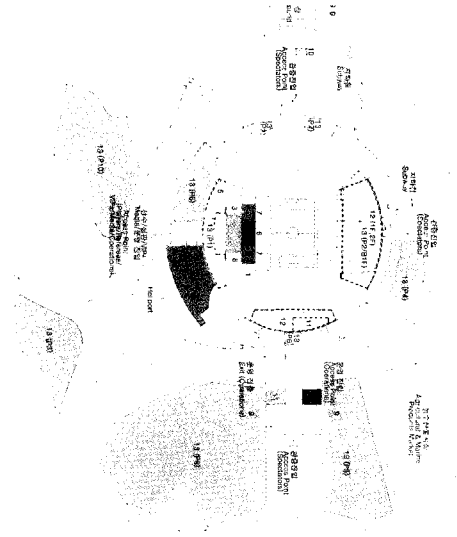


그림 9. 월드컵 상암동 주경기장 배치도

### 3.5 5단계

지붕 트러스 공사/잔디 포설 공사 선행 공정

- 규모 : 마스트/ 트러스 : 6,830 ton  
 케이블 : 160 ton  
 Socket : 110 ton
- PSC : 350 kgf/cm<sup>2</sup>(파라렛, 스탠드)
- 지붕 총 중량 : 5,000 ton

3차원 돔의 입체 삼각형 트러스와 인장 케이블로 구성된 서스펜디드 트러스 시스템으로 하중 전달은 16개 마스트와 3층 데크의 기둥에 전달하는 강관 구조 시스템이다. 설치를 위한 가설받침 철물이 약 2,500 ton이 필요했으며, 지주 설치 방법의 선택과 접근은 PC면과의 가설대 기초의 관계하중조건, 시공과 해체의 편의성, 설치 순서 등 제요소를 종합적으로 검토된 공법을 선택하였다.

경기장 내부 즉, 잔디 깔리는 곳의 지붕 주공정 워크샵은 조립 프레임 수량과 조립 순환공정, 대형설치장비, 자재 반출입 등의 모든 동선을 고려한 결과 워크샵은 협소하였으며, 4~6개 스패의 트러스 밖에 유지할 수 없었다.

주변 빔(perimeter beam)은 외곽으로 부분별 작업장을 활용하며 설치하였다. 특

히 대형장비 운행 통로는 설치에서 장비의 도피 및 움직임이 없도록 완벽하게 가설도로를 확보하여야 한다. 이 때에 외부설치공사와 외부지역의 PC 및 외부 다른 공사와 많은 간섭이 발생한다. 이에 대한 선행공정관리 계획이 필요하다. 특히, 공장 제작에서 용접을 완료한 프레임형으로 된 부재들은 현장여건과 조립 및 설치에서 문제점이 많이 발생함으로 솟음과 오차관리에서 오는 문제점을 면밀히 검토하여 가급적 현장조립에서 조정할 수 있도록 범위를 조절하여야 한다. 80m ~ 110m의 반경 방향 트러스(radial truss) 장 스패와 대 중량에 따른 설치방법과 perimeter/ring truss의 설치와 조정 등의 난이도를 처음 시작한 1구간(25%)에서 충분한 시행착오를 피드백하고 재검토하여 잔여 2~4구간(75%)의 공정에서 손맞추기, 최적화된 설치 조립조 조합 등 공정에서 최적공기의 효율을 도출하여야 한다. 2구간부터 점진적으로 시공속도를 상승시켜 경제적인 생산속도를 도출하여야 한다.

잔디공사의 선행공정으로 최소한 2월말 이전에 지붕골조공사를 완료하고 장비를 철수하여 4월 ~ 5월에 이식 및 파종이 필요한 잔디공사의 드레인(drain) 및 표층작업을 2월 말경에 착수할 수 있도록 공정관리를 하여야 했다. 또한, 인장 케이블의

설치와 장력조정은 허용오차  $\pm 5\%$ 를 기준으로 전체 균형을 유지하여야 한다. 이때, 매트릭스(matrix)를 이용한 최저심량 등의 관리항목 응답치는 구조계산에 의한 시뮬레이션을 통하여 확정하였다.

### 4. 맺음말

종합 경기장이나 축구 전용 구장 등 운동장 프로젝트에서는 특수형태의 골조공사가 요구되고 있으며, 또한, 하계와 동계의 계절에 따른 공사의 Slow-down 분기점의 문제와 잔디 공사 등과 같이 파종 및 이식 시기의 적기가 요구되는 주 공정 등은 분기점에서 선행공정의 중점관리가 더욱 절실히 요구되고 있다. 따라서, 동계/하계의 전후 선행공정을 면밀히 분석/검토하여 경우에 따라서 비생산적인 경우일지라도 적기에 완료하는 공정관리가 최대의 경제적인 관리방법으로 판단된다. 즉, 긴급작업, 연장작업, 돌관작업 등을 적기/적소에 탄력성 있게 운영하여 분기점 선행공정관리에 흐름을 유도하여야 한다.

월드컵 및 운동장 프로젝트의 경우 준공 전에 최소한의 연습게임 실시하여 시공 이외의 보완점 부분도 충분히 도출하여 완벽한 프로젝트로 탄생할 수 있도록 하여야 한다. □