



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

밀폐형 돔 구조물의 시공사례분석을
통한 공사관리 개선방안



2018年 8月

부경대학교 산업대학원

건축공학과

최 욱 필

공학석사 학위논문

밀폐형 돔 구조물의 시공사례분석을
통한 공사관리 개선방안

지도교수 이재용

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2018年 8月

부경대학교 산업대학원

건축공학과

최욱필

최욱필의 공학석사 학위논문을 인준함

2018年 8月 日



주 심 공학박사 정근주 (인)

위 원 건축학박사 조영행 (인)

위 원 공학박사 이재용 (인)

목 차

Abstract

I. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 방법 및 범위	3
II. 예비적 고찰	4
2.1 돔구조의 기원과 발달과정	4
2.2 돔구조의 원리	6
2.3 입체구조의 발전	8
2.4 제철소 시설의 환경문제 특성	9
III. 밀폐형 돔 구조물의 시공과 반복시공효과의 분석	11
3.1 사례현장의 개요와 시공방법	11
3.1.1 사례현장의 개요	11
3.1.2 시공 순서	13
3.2 반복시공에 따른 효과의 분석	21
3.2.1 인원과 장비 투입량의 분석	25
3.2.2 공사기간의 분석	29
3.2.3 공사원가의 분석	31
3.3 반복시공에 따른 공사관리 개선사항	32
IV. 결 론	37
참고문헌	38

표 목 차

표 1. 원형돔 A의 인원 및 장비 투입현황	23
표 2. 원형돔 B의 인원 및 장비 투입현황	24
표 3. 원형돔 A, B 인원 및 장비 투입금액	31



그림 목 차

그림 1. 반구형 돔의 구조적 거동	6
그림 2. 밀폐형 돔 구조물 시공도면	11
그림 3. 밀폐형 돔구조 시공순서	12
그림 4. 구조물 공사 전경	13
그림 5. 타워의 설치	15
그림 6. Strut 시공	17
그림 7. 판넬 시공	18
그림 8. Ring 인양	18
그림 9. 타워 해체	19
그림 10. 1, 2번 Ring 설치	20
그림 11. 시공완료 상태	20
그림 12. 원형돔 A, B 일별 투입인원	25
그림 13. 원형돔 A, B 일별 장비 투입량	27
그림 14. 사례현장 공정표	29
그림 15. 원형철광석 #1,2 평/단면도	33
그림 16. 철광석 적재 직후 지반변위 발생	34
그림 17. 우천시 낙수로 인한 미관손상	35
그림 18. 접합부 당초 설계	36

An Improvement Plan of Construction Management through the Analysis of the Construction Cases of the Closed Dome Structures

By Wook-Pil, Choi

*Department of Architectural Engineering, Graduate School of Industry,
Pukyong National University*

Abstract

This study, the construction methods and problems were analyzed by construction cases of the closed dome structure.

In the construction of the closed dome structure, this study analyzed the effect of learning effect on construction period and labor cost due to repeated work. Then, it suggested the improvement of construction management by integrating analysis contents.

The study results are as below.

In this study, through the construction case analysis, the learning effect is derived from the repetitive work such as minimization of errors in design drawings, appropriate input of personnel by construction stage, and aggressive input of construction equipment to milestone.

According to the learning effect, the construction period was reduced by 25% in the construction site of the same size.

Analysis of similar construction cases shows that equipment costs are increased by 45%, but labor costs are reduced by 22%, resulting in a total cost savings of 13.5%. In other words, it was shown that the cost can be reduced by learning effect.

I. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 급격한 산업화 과정을 거치면서 많은 변화가 있었고, 산업과 과정에 따라 에너지를 공급받기 위해 발전소, 석유화학 공업단지 및 철강 공업단지를 조성하게 되었다. 이러한 공업단지의 조성은 우리나라 경제발전에 중요한 역할을 담당하였지만, 주변지역에 악취와 대기오염, 토양오염, 중금속 등을 배출하여 지역사회에 많은 피해를 주어 이로 인하여 지역주민과의 갈등에 중요한 원인이 되고 있다¹⁾²⁾.

환경오염이 공단 인근 주민의 생활과 건강에 위협을 주게 되면서 환경문제가 국가적인 차원에서 해결해야 할 문제로 대두되었고, 따라서 국민건강 보호를 위한 강화된 환경정책 수립을 추진하고 있다.

최근 건축물이나 시설물에서 발생하는 이산화탄소에 의한 지구온난화의 문제뿐만 아니라 미세먼지 등 대기오염에 대한 관심도 나날이 높아지고 있다. 기존연구³⁾에 따르면 제철소 인근의 마을 사람들의 폐 건강 상태를 조사한 결과 제철소에서 발생하는 대기오염에 의한 문제가 발생함을 알 수 있다.

제철소 중에서 일관제철소는 철광석을 이용하여 철강제품을 생산하기까지의 공정인 제선, 연주, 압연공정을 갖춘 곳으로 각 단위공정별로 대기오염물질을 배출하는 시설이며 작업내용은 제선분야의 원료공정에서 분광의 수송과 하화(下貨)과정 및 파쇄, 선별작업과정이나 저장 등으로 구성된다⁴⁾. 이러한 작업 공정에서 기상 악화로 연료 야적장에서 먼지가 비산할 때 대기오염

1) 이종태 외9인, 지역주민 환경오염 노출수준 및 생체지표 모니터링 방법에 대한 연구, 한국환경보건학회지, v.34 n.3, pp.188-198, 2008

2) 김민정, 포스코 광양 제철소 인근 지역의 환경 불평등, 사회과학 담론과 정책, v.2 n.2, pp.1-23, 2009

3) 홍은주, 안기섭, 정은경, 최재호, 손부순, 광양 제철소 주변지역 거주자들의 폐기능과 영향 요인, 한국환경보건학회지, v.37 n.3, pp.182-192, 2011

4) 김민정, 포스코 광양제철소 인근 지역의 환경문제와 주민들의 환경권, 사회과학연구, pp.496-531, 2008

물질이 발생한다.

한편 제철소 야적장에서 날리는 비산물들이 대기오염에 영향을 미치고 있으며, 이러한 형태의 대기오염을 방지하기 위한 원시적인 방법으로 야적된 자재에 물을 뿌리는 등의 조치를 시행하고 있지만 큰 효과를 보지는 못하고 있는 실정이다. 이에 대한 문제를 해결하기 위한 방법으로 제철관련 회사에서는 밀폐형 돔 구조물을 활용하여 제철소에서 발생하는 환경오염에 효과적으로 대처하고 있는 실정이다.

제철소 관련시설이나 대량의 자재 야적이 필요한 곳에도 밀폐형 돔 구조물을 활용한 야적장을 건설한다면 해당시설로 인한 대기오염을 막는 데에 큰 효과가 있을 것으로 보이지만 밀폐형 돔 구조물의 시공사례가 매우 적기 때문에 해당 구조물을 선택할 때 검토하고 고려해야 할 사항이 많은 실정이다.

이에 본 연구에서는 제철소 야적장에서 발생하는 대기오염을 줄일 수 있는 밀폐형 돔 구조물의 시공사례를 조사하여 시공방법과 문제점을 분석하고, 밀폐형 돔 구조물 반복작업의 학습효과(Learning effect)⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾에 의해 공사기간과 노무비에 미치는 영향을 분석하고 원가절감과 공사기간 단축을 고려한 공사관리 개선방안을 제시하고자 한다.

-
- 5) 학습효과 : 동일한 작업을 반복하여 행하면 학습효과 및 익숙함에 의해 점점 능률이 오르는 것을 학습효과 (또는 습속효과)라 한다.
 - 6) Arditi, D., Tokdemir, O. B., and Suh, K., Effect of Learning on Line-Balanced Scheduling, Journal of Construction Engineering and Management, v.128 n.6, 2002
 - 7) 신현식, 김문한, 김무한, 건축시공학, 문운당, p.410, 1988
 - 8) 이재섭, 학습효과와 선형계획법을 이용한 건설공사 공기지연 분석방법, 대한건축학회논문집 구조계, v.24 n.5, pp.185-192, 2008

1.2 연구의 방법 및 범위

제철소 야적장에서 발생하는 대기오염을 줄일 수 있는 밀폐형 돔 구조물의 시공사례를 조사하고 반복작업에 의한 공사기간과 노무비에 미치는 영향을 분석하여 공사관리 개선방안을 제시하고자 다음과 같은 방법으로 연구를 진행하였다.

(1) 이론적 고찰을 통하여 돔구조의 일반적 사항과 밀폐형 돔 구조물의 기본적 내용을 검토한다.

(2) 밀폐형 돔 구조물의 일종인 돔형 자재야적장의 공사진행과 방법을 검토한다.

(3) 시공사례를 분석하여 시공방법과 문제점을 분석하고 밀폐형 돔 구조물의 반복시공이 학습효과에 의해 공사기간과 노무비에 미치는 영향을 분석하고 공사관리 개선방안을 제시한다.

또한, 본 연구는 국내 밀폐형 돔 구조물의 시공사례와 반복작업에 대한 공사기간, 공사원가에 한해 분석을 실시하였다.

II. 예비적 고찰

2.1 돔구조의 기원과 발달과정

돔구조는 아치에서 발전된 반구형 건물구조체로서 원형이나 육각, 팔각 등 다양한 평면 위에 만들어진 둥근 곡면의 천장이나 지붕을 말한다⁹⁾.

돔의 기원은 원시시대의 수목 텐트의 주거형태에서 비롯되었다고 볼 수 있으며 오늘날에도 에스키모의 얼음집, 아프리카 원주민의 벌집형 주택 등에서 원시적 형태의 돔구조를 찾아볼 수 있다. 이처럼 돔구조는 여러 곳에서 각각의 방식으로 이어져 내려오지만 대규모의 돔구조가 발달한 것은 로마시대이다.

고대 로마에서는 콘크리트의 발명을 기폭제로 하여 수로, 교량 등 대형 건축공간을 덮는 구조방식으로 아치 구조를 응용한 돔, 볼트 구조가 널리 사용되었다. 콘크리트는 인장강도에 비해 매우 높은 압축강도를 지닌다. 따라서 가장 오래된 구조 방식 중 하나인 보-기둥 방식에서 휨모멘트를 받는 보의 재료로는 적합하지 않아서 모든 부재가 압축력만을 받는 아치구조를 사용하였는데, 이는 중세의 비잔틴, 로마네스크, 고딕 건축에 이르기까지 유럽의 조적조 건축문화에서도 널리 사용되는 구조 방식이다¹⁰⁾¹¹⁾.

산업혁명 이후 철재의 사용이 일반화 되면서 교량이나 기차역 등의 대형 스펀을 철골 아치로 덮는 기술이 발달했으며, 요즘에도 체육관 등 대형 공간을 덮는 방식으로 널리 쓰이고 있다.

형태상으로 돔의 기원은 멀리 원시시대 수목텐트의 주거형태에서 찾을 수 있지만, 내구성이 있는 돔은 BC 3000년 전 메소포타미아 인에 의해 발명된 소성벽돌이라는 건축재료가 등장한 이후이다. 모르타르가 BC 2600~2500년경에 축조된 이집트의 피라미드에서 발견되었으므로 석회 모르타르를

9) 송호산, 건축의 구조 디자인, 기문당, 2013

10) 송성진 외5인, 건축일반구조학, 문운당, 2007

11) 장화균 외7인, 건축일반구조학, 기문당, 2007

이용한 구조양식의 출현 시기도 이때쯤으로 유추할 수 있다¹²⁾.

석조로 구조물을 축조할 경우 돔의 높이나 형태에 따라 석재의 크기나 모양을 다양하게 변화시켜야 한다는 점과 모르타르를 사용하지 않는 석구조에 수평방향의 힘이 작용할 경우 상하 돌 사이에 발생할 수 있는 미끄러짐 영향으로 하중의 전달이 어렵다는 이유 때문에 돌을 다듬을 때 특별한 기술이 필요하였다. 따라서 돔의 건설에 가장 많이 쓰인 재료는 석재보다는 시공성이 좋은 천연 시멘트에 의한 콘크리트나 벽돌이라 할 수 있다.

돔의 기술을 발전시켜 거대한 건축물을 축조한 것은 역시 고대 로마제국시대부터였다. 공공건물의 대공간을 새로운 3차원적 볼트전개 구법으로 둥근 지붕형태를 구축하면서 덮을 수 있는 돔 양식은 로마건축의 혁명으로 불리면서 로마의 건축기술자들에게 대단한 흥미를 가져다주었다고 볼 수 있다.

이후 로마네스크와 고딕시대에는 리브볼트나 목조지붕구조 형태가 건물양식의 주류가 되었기에 돔구조에 의한 건물의 건립은 좀처럼 찾기 어렵지만, 르네상스와 바로크시대부터 로마나 비잔틴시대의 돔형태가 구조적으로나 예술적으로 보다 향상된 형태로 다시 출현하게 된다. 이러한 고전적 돔의 형태는 주로 반구형의 모양이지만 시대나 지역 및 종교적 영향 등에 따라 양과형 돔, 코벨 돔, 타원형 돔, 소서 돔 등으로 불리는 다양한 돔의 형태도 나타났다.

돔의 구조적 기능이 비약적으로 발전한 것은 철과 콘크리트의 발견 이후이다. 근대의 돔구조는 사용재료와 구축방법에 따라 철골 트러스 구조, 철근 콘크리트 아치구조, 콘크리트 셸구조 등으로 재분류되기도 한다. 이러한 양식과 더불어 곡면과 평면형식을 사용하여 돔형태를 아주 자유스러운 형으로 변화시키면서 보다 경량인 재료로 넓은 공간을 덮을 수 있는 기술적 발전도 대단한 성과를 거두고 있다.

12) 정상진 외8인, 건축일반구조학, 기문당, 2010

그 영향으로 최근에는 구조 자체의 응력을 분산시킨 삼각형이나 다각형의 기하학적 돔이 건설되기도 하고, 공기압을 이용하여 지붕 돔을 하부 구조체에 지지시키는 시공법이 개발됨으로써 경제성 때문에 지금까지는 구축할 수 없었던 다양한 형태의 새로운 돔들도 만들어지게 되었다.

2.2 돔구조의 원리

돔은 경선방향으로는 아치구조와 유사한 방법으로 하중을 전달하지만, 위선방향으로도 구조체가 저항력이 있다는 점이 아치구조와 다른 중요한 특징이다¹³⁾.

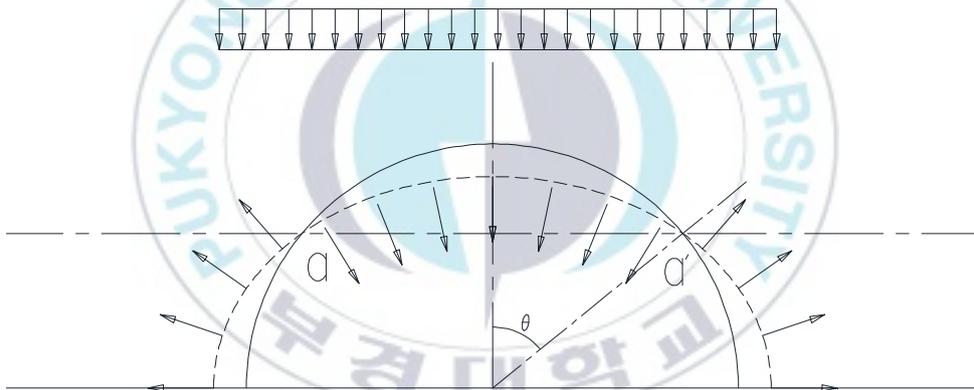


그림 1. 반구형 돔의 구조적 거동

그림 1과 같은 반구형 돔이 하중을 받을 경우 점선과 같이 a-a'선상 하부는 신장(인장)하려는 경향이 있음을 알 수 있다. 아치구조일 경우 형태를 구성하는 경선에 따라서는 작용선 추력이 지지체 밖으로 작용하는 경우가 발생할 수도 있고, 이러한 경우에는 아치 지지벽면에 인장력이 발생할 수 있으므로 그 영향을 억제하기 위하여 부벽이나 수평 부착보가 필요할 것이다.

그러나 일체식이며 3차원 구조형태로 구성된 돔은 돔의 표면 연속성이 경

13) 송호산, 건축의 구조 디자인, 기문당, 2013

선을 따라 벌어지려는 구조물의 거동을 마치 원통형의 후프처럼 위선방향으로 하나의 표면을 형성하면서 구조적 변형을 억제시키는 역할을 하게 된다.

아치가 1방향으로만 하중을 전달시키는 것에 비해, 돔 하부 지지부 모두에 하중을 거의 균등히 전달시키면서도 변형을 억제시키는 이러한 위선방향의 저항력 때문에 아치에 비해 돔의 두께는 매우 얇게 할 수 있다. 보통 콘크리트 아치의 두께가 반경의 $1/20 \sim 1/30$ 인데 비해 구형 돔에서는 그 두께를 반경의 $1/200 \sim 1/300$ 정도까지 낮출 수 있다.

그렇지만 위선 역시 돔의 상부에서는 돔이 안쪽으로 압축 변형되면서 반경을 감소시키는데 비하여 하부에서는 외향작용에 저항하면서 인장되어 반경을 증가시키려는 경향은 피할 수 없을 것이다. 따라서 위선작용을 이해하지 못하고 돔이 구조적 변형을 억제시킬 수 있다는 생각만으로 인장내력이 낮은 조적벽돌조로 돔을 형성할 경우에는 돔 하부에 수직균열이 발생할 수 있다. 고대에 축조된 많은 돔들이 돔 하부에 후프형태의 인장 링으로 보강하고 나서야 균열된 돔의 안정성을 회복하였다는 예는 많이 찾을 수 있다.

원통상 위에 돔이 안착되는 경우에는 돔으로부터 벽체로의 하중전달이 자연스럽고 순조롭게 진행되나, 건물이 원형이 아니고 장방향이나 정방형 등의 다각형 평면인 경우 그 위에 원형의 돔을 얹기 위해서는 독특한 구조형태가 필요하게 된다.

소서 돔과 같이 지붕이 낮은 돔은 인장력이 증대되어 구조물 붕괴를 가져올 수 있으므로 하부에 별도의 보강재인 인장 링의 설치가 필요하다. 철근은 인장력에 대한 저항능력이 탁월하므로 철근콘크리트로 돔구조를 형성할 때에는 인장대가 위치한 부분에 위선방향으로 필요로 하는 인장저항력에 지지될 수 있는 철근의 배근이 필요하다.

철근은 인장에 저항할 뿐만 아니라 콘크리트도 일체화시켜 구조체의 연속성을 유지시켜주므로, 콘크리트가 갖는 일체성을 향상시켜 구조체의 연속성을 유지하기 위하여 철근을 위선과 경선의 2방향 모두에 배근하는 것이 일반적이다.

철골이나 목재를 이용하여 트러스형태로 돔을 구성하는 입체구조 방법도 자주 사용되고 있으며, 돔을 구성하는 구조형식과 형태에 따라 슈베들러 돔, 래티스 돔, 지오데식 돔 등으로 불리고 있다.

2.3 입체구조의 발전

견고한 재료에 의한 직선요소인 선재는 길이에 비해 단면이 작기 때문에 축방향으로만 힘을 전달하는 구조부재(압축과 인장부재)가 될 수 있으므로 압축과 인장부재를 일정한 패턴으로 배열하고 그 절점을 편 접합한 형태로 구성하면 대공간이라도 중간지지 없이 하중을 전달할 수 있는 트러스와 같은 백터 구조시스템이 될 수 있다.

특히 구성부재를 삼각형으로 배열하면 구조적 안정이 되므로 지지조건이 적절하다면 비대칭이나 불규칙한 하중도 쉽게 지지점에 도달시킬 수 있다. 이와 같은 선재의 트러스 보를 평면 혹은 곡면의 2방향으로 확장시키면 입체트러스가 되며, 입체트러스로 구성된 공간구조를 입체구조라고 한다.

입체구조는 힘의 흐름이 입체적으로 분포되므로 효율을 좋게 하기 위해서는 가능한 골조 전체가 규칙적인 기하학적 유닛의 반복으로 구성될 수 있도록 골조부재의 길이와 단면을 갖추는 것이 유리하며, 입체구조의 구조시스템을 지배하는 가장 기본적인 조건을 역학적 구송의 관점에서 본다면 형태, 배열, 접합으로 집약할 수 있다. 또한, 형태는 구조를 연속체로 배열함으로써 나타나는 단순한 외적 형상을 의미하는데 주로 평면입체구조와 곡면입체구조로 구분된다.

건축구조물의 대공간 지붕구조 형성은 경제성이 있으면서 그 기하학적 형태가 갖는 시각적인 아름다움 때문에 평면보다는 곡면입체구조가 보다 자주 사용되며, 대공간 구조에서 철골을 사용한 돔형태를 입체구조라고 부르기도 한다.

요즘은 건축재료 생산 공장에도 컴퓨터와 로봇 시스템이 도입되어 구조의 구성부재와 접합의 종류를 다양하면서도 정밀하게 만들 수 있게 되었기 때

문에 정밀성과 많은 구조부재를 필요로 하는 구조체라도 입체구조로 가능할 수 있는 새로운 발전단계를 맞이하였다고 할 수 있다.

지붕구에 사용되는 곡면입체구조 형식의 재료는 주로 철판재료가 이용되고 있다. 곡면입체구조가 형태상으로는 돔이지만 셸과 같으므로 골조 셸 돔이라고 부르기도 한다. 본 연구의 대상인 밀폐형 돔구조 역시 이와 같은 철판재료로 구성된 곡면 입체구조 형식이라고 할 수 있다.

2.4 제철소 시설의 환경문제 특성

일반제철소는 철광석을 이용하여 철강제품을 생산하기까지의 모든 공정, 즉 제선, 연주, 압연공정을 갖춘 곳으로 각 단위공정별 혹은 공정별로 대기오염물질을 배출하는 시설이나 작업은 우선 제선분야의 원료공정에서 분광의 수송과 하화과정 및 파쇄, 선별작업과정이나 저장시설을 들 수 있다. 이 공정에서는 기상 악화로 연료 야적장에서 먼지가 비산할 때 대기오염물질이 발생한다. 소결공정에서의 오염 배출시설로는 소결기 및 소결광의 정립, 수송 시설관, 분코크스의 파쇄, 선별, 수송시설 그리고 배열 보일러 등을 들 수 있다¹⁴⁾.

고로공정에서 대기오염물질 배출시설로는 주원료 및 부원료 저장시설을 들 수 있는데, 이 공정에서는 주상에서 출선 시 비산먼지가 발생할 수 있다. 석회소성공정의 대기오염물질 배출시설은 원료를 수입하는 저장, 선별, 분쇄, 이송시설 및 소성로, 분쇄기 등의 석회제조시설이다. 코크스 공정 중 원료탄과 코크스를 저장, 파쇄, 수송하는 석탄공정에서 발생하는 대기오염물질은 석탄의 야적장 저장 때 발생하는 비산 먼지, 석탄과 코크스 수송과정에서 낙하 지점에서 발생하는 비산먼지 등이다. 그리고 석탄을 건류, 제조하는 코크스 오븐 공정에서는 생산설비 자체의 열화가 오염의 발생원이 될 수 있고 코크스 인출시설, 조화탑, 분해시설 등이 오염발생시설이다. 또 화성공정

14) 김민정, 포스코 광양제철소 인근 지역의 환경문제와 주민들의 환경권, 사회과학연구, pp.496-531, 2008

에서는 코크스가 공해 발생원으로서 석탄가스를 발생시킨다.

제강 분야는 제강공정과 연주공정으로 나뉘는데 제강공정의 대기오염배출 시설로는 전로, 탈황시설, 연와절단시설, 조괴시설 등이다. 연주공정의 대기오염 물질 배출시설은 금속의 표면처리시설인 머신 스크레이퍼(Machine Scraper)와 턴디시 수리장 시설 등이 있다. 열연 분야의 열연공정에서 대기오염물질을 배출시키는 시설은 연마시설(사상압여기), 열처리 시설(가열로)이 있다. 냉연 분야의 공정은 냉연공장과 도금공정으로 나뉘는데 냉연공정에서 대기오염물질을 배출하는 시설로는 압연시설, 교정기, 용접기, 스케일 브레이커(Scale Breaker), 금속표면 처리시설 그리고 탈사시설 등이 있다. 도금과정에서 대기오염물질을 배출하는 시설은 도금처리 시설, 약품저장시설, 도금시설, 스케일 브레이커, 금속표면 처리시설, 압연시설, 도유기, 소둔로 등이다.

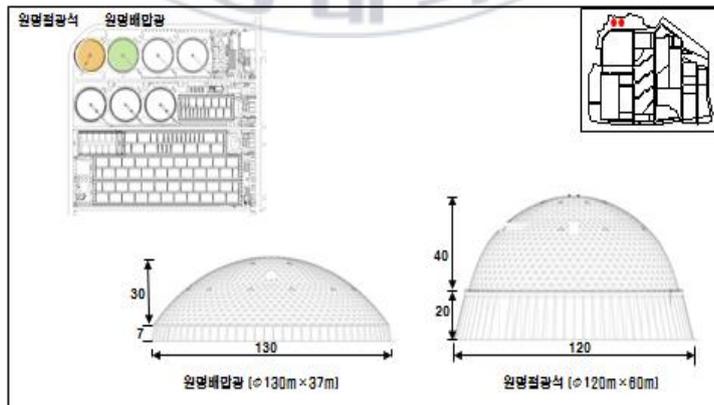
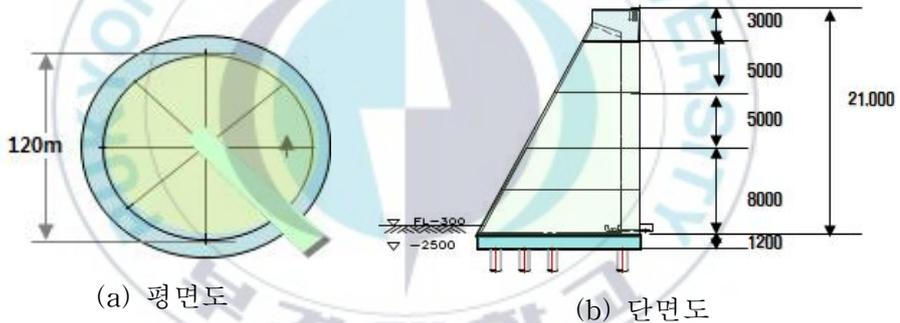
부유 분진은 소결공장에서 가장 많이 나오고 고로공장, 코크스공장, 제강공장에서 주로 발생한다. 이산화황은 소결공장과 발전소에서 가장 많이 나오고 고로, 코크스, 화성, 연주공장에서도 다량 발생한다. 이산화질소는 소결공장에서 가장 많이 나오고 코크스, 발전공장에서 주로 발생한다. 몇가지 오염물질이 소결공장에서 가장 많이 배출되고 있다.

Ⅲ. 밀폐형 돔 구조물의 시공과 반복시공효과의 분석

3.1 사례현장의 개요와 시공방법

3.1.1 사례현장의 개요

밀폐형 돔 구조물 사례현장 개요는 다음과 같다. 충남 당진에 있는 현장으로 발주처는 ○○제철이며, 공사기간은 원형 배합광과 원형 철광석 구조물이 각각 10개월이며, 건축면적은 원형배합광(이하 원형돔 A) 13,266m², 원형 철광석(이하 원형돔 B) 11,304m², 저장수량은 원형 배합광 227ton(지름 130m) 원형 철광석 232ton(지름 120m)이다. 사례현장의 도면은 그림 2에 나타난 바와 같다.



(c) 입면도

그림 2. 밀폐형 돔 구조물 시공도면

개략적인 밀폐형 돔 구조물의 시공절차는 그림 3에 나타난 바와 같다. 먼저 콘크리트 벽체와 일렉션 타워(Erection Tower)를 세우고 사방으로 데드맨(Deadman)을 두어 타워를 고정시킨다. 이후 일렉션 타워와 콘크리트 월 사이 바닥에서 링 스트러트(Ring Strut)를 시공한다. 이때 링 스트러트의 중심부부터 시공하기 시작하여 중앙에 위치한 타워로 조금씩 상부로 인양하며 하부에 1단씩 링 스트러트를 시공하는 작업을 반복한다. 이때 각 단의 링 스트러트를 시공할 때마다 관벨마감을 붙여 마감까지 한 번에 시공한다. 이렇게 조금씩 끌어올리며 단을 쌓아가다 돔구조의 최하단 즉, 외곽 틀이 미리 시공해둔 콘크리트 벽체와 맞물릴 때 콘크리트 월에 미리 심어둔 엠베드(Embed)와 연결하여 마무리한다.

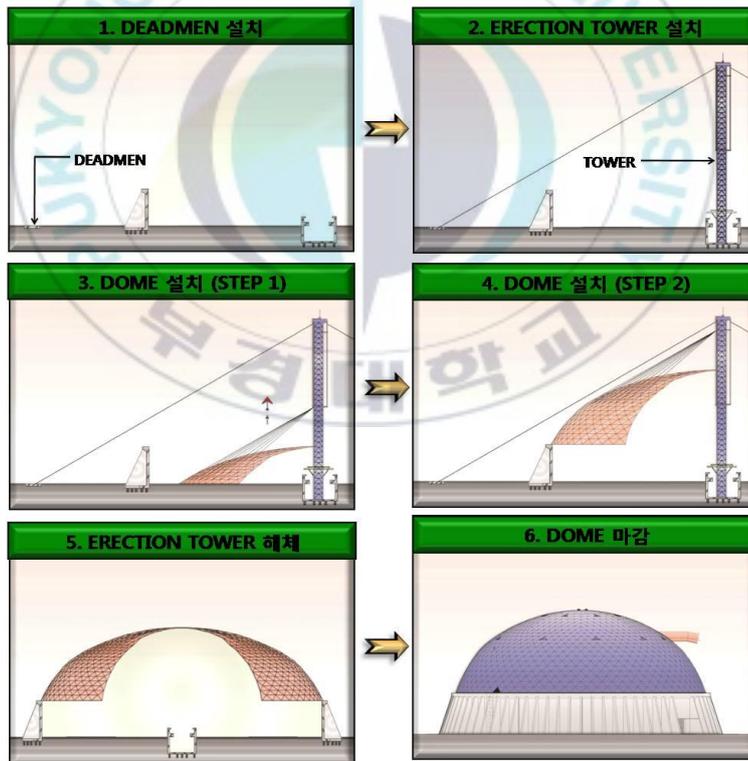


그림 3. 밀폐형 돔구조 시공순서

3.1.2 시공순서

(1) 구조물 공사

구조물 공사는 그림 4와 같이 진행하였다.



그림 4. 구조물 공사 전경

먼저 파일 항타시 유의사항으로는 해머의 완충재 역할을 하는 쿠션재는 합판재로 여러겹(4~5장)을 깔며 자주 갈아주며 시공하여야 한다. 파일의 운반시에는 파일에 손상(크랙, Crack) 및 파손이 발생하지 않도록 관리한다.

파일 세우기는 파일의 중심축에서 허용오차 $D/4$ 또는 10cm 이하, 수직에 대한 기울기는 $1/50$ 이하로 관리한다. 최종 관입량은 설계기준(당시 5mm이하, 10회 평균 값)에 따라 관리한다. 이음은 상부파일과 하부파일이 일치하도록 하며, 아크용접 한 후 용접부 검사는 X선 투과하여 검사한다. 두부절단은 다이아몬드 커트로 파일이 손상되지 않도록 조심히 절단한다.

콘크리트 구조물에 대하여는 일반적으로 철근 콘크리트 공사할 때 사용하는 유의사항들이 적용되어야 한다. 호퍼방수는 외부 시트방수로 시공한다. 이때 바탕면 구매는 콘크리트 등의 보호층이 있는 경우 $1/100-1/50$, 도장마감 또는 보호층이 없는 경우 $1/50-1/20$ 을 권장한다. 시트 부착시 시트에 인장력이 발생하여 주름이 생기지 않도록 부착한다. 첫 번째 시트는 먹줄을 띄워 직선으로 부착하며, 귀퉁이나 모서리 1면을 절단하여 2면 접착이 되도록 한다(3면 접착금지). 이음이 겹친 부위는 150mm 이상을 확보하여야한다. 그리고 시트 접합부에서 들뜸현상이 발생하지 않도록 철저한 시공관리가 필요하다. 개량아스팔트 시트의 경우 토치램프로 시트 뒷면과 바탕을 균일하게 가열하여 용융시키면서 밀착시켜야 하는데, 이 경우 개량아스팔트가 용융되어 배어나올 정도로 충분히 가열하여야 한다.

구조물공사의 마지막 단계는 호퍼 되메우기이다. 되메우기를 하기 전 청소가 잘 되어있는지 확인 한다. 되메우기 할 흙의 함수는 적당하고 양질의 흙을 사용하여야 하며 침하방지를 위하여 두께 30cm 마다 롤러다짐을 하여야 한다. 특히 비중이 높은 철광석 적재장소이기 때문에 다짐에 더욱 신경을 써야만 이후 철광석 적재시 침하를 방지할 수 있다.

지하 벽체 등 토압을 받는 곳의 되메우기는 7일 이상의 양생기간을 거쳐 소요강도를 확보한 후 실시한다. 지하 벽체의 폼타이 구멍, 콘크리트 이어치기 부위는 되메우기 전 방수처리를 제대로 하였는지 확인을 하여야 한다.

(2) 타워 설치

타워의 설치는 먼저 외부 데드맨(Exterior Deadman) 설치부터 시작한다. 데드맨은 타워를 잡아주는 당김 줄(Guy cable)을 고정하기 위해 설치하는데, 돔 외부 3개소에 콘크리트 타설을 통해 설치한다.

타워 본체 고정용 앵커는 호퍼 내부(기존 구조물 이용)에 설치하며, 내부 데드맨(Interior Deadman)은 44개소로 돔이 흔들리지 않도록 내부에서 잡아준다. 타워는 우선 지상에서 크레인으로 한단씩 쌓아올려 조립한다.



(a) 타워 설치 준비

그림 5. 타워의 설치(계속)



(b) 타워 설치 작업
그림 5. 타워의 설치

(3) 스트러트(Strut) 설치

스트러트 설치에 자재관리가 매우 중요하다. 자재는 설치하기 접합하도록 사전에 제작된 키트(Kit)화된 제품으로 나무포장되어 현장으로 가져온다. 제품이 현장에 도착하면 선적기간 중에 발생했을지도 모르는 손상이 있는지 육안으로 검사하고, 자재를 내릴 때에는 안전수칙과 사고 방지 수칙에 따라 세심한 주의를 기울여야 한다.

스트러트와 배튼(Batten)은 다발 묶음을 하여 철제 끈으로 묶어둔다. 스트러트 플랜지(Strut flange)가 손상되는 것을 막기 위하여 들어 올릴 때 철선(Steel cable)을 사용하지 않아야 한다.

인수받은 자재의 물량을 포장명세서(Packing list)와 대조하여 확인하여 두는 것이 중요하며 설치자는 모든 자재의 목록을 파악하여 잘 보관하는 것이 매우 중요하다.



그림 6. Strut 시공

볼트를 조립하기 전에 각 연결 접점에서 어떤 종류의 볼트를 체결해야 하는지 분명하게 확인하여야 한다. 볼트는 종류에 따라 알루미늄과 스테인리스가 있으며 조립도면에 지시된 대로 체결하지 않는다면 작업을 마치기 전에 각 볼트의 양이 부족하게 되거나 돔의 구조적 불안전을 유발하게 된다.

(4) 판넬 설치

판넬 설치시 바람이 심하게 불 때에는 판넬을 설치한 다음 바로 배튼을 설치하는 것이 매우 중요하다.

각 판넬의 모서리는 위의 그림과 같이 스트러트 상부의 가늘게 파인 홈에 놓여질 수 있도록 제작되어져 있다. 아래의 그림과 같이 판넬에 머리 부분이 놓이도록 리벳을 끼워넣는다. 그런 다음 리벳의 머리 부분과 핀이 같은 높이가 되도록 망치로 두드려 박는다. 각 모서리에 리벳을 하나씩 체결하여 판넬을 고정한다.



그림 7. 판넬 시공

(5) 링(Ring) 인양

조립된 돔을 인양할 시 인양 케이블 수평을 잘 맞추는 것이 중요하며, 하나의 링을 조립하고 인양하는 작업을 반복한다. 돔 상부 케이블은 인양을 목적으로 하고 하부는 흔들리지 않도록 잡아준다. 풍속이 6m/s 이상일 경우 인양을 중단하여야만 하며 강설량 1cm/hr, 강수량 10mm/day 이상일 경우 마찬가지로 인양을 중단하여야 한다.

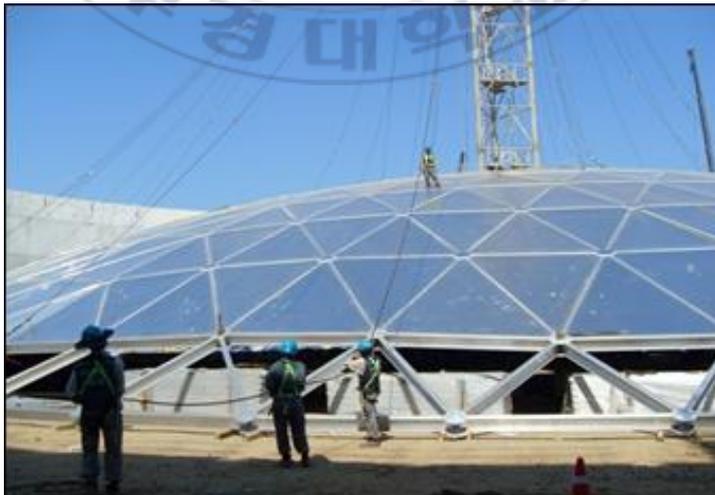


그림 8. Ring 인양

(6) 타워 해체

타워 해체시 대형장비(하이드로 500ton 1대, 100ton 1대) 투입으로 인한 지반침하를 방지하기 위해 지내력 테스트 후 이상이 없을시 장비를 투입한다. 대형장비이므로 현장으로의 진입로를 미리 확보하여야 하며, 장비 신호수의 배치인원과 위치를 확인한다.

해체시 상부에서 하부 순으로 해체하며 기상을 고려하여 강풍이 불거나 비, 눈이 올 때에는 해체를 중단한다.



그림 9. 타워 해체

(7) 1, 2번 링 설치

1, 2번 링 설치는 돔 시공의 마무리 단계로 고소작업으로 인한 안전관리에 각별히 주의하여 작업을 진행하여야 한다. 90m 이상의 스카이 장비가 동원되므로 타워 해체시와 마찬가지로 장비위치의 지반상태를 점검하고 장비제원 및 노후장비여부를 장비 투입 전 확인한다.

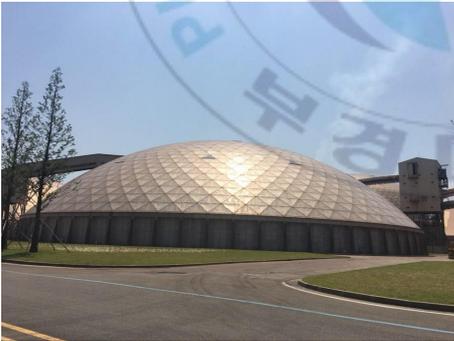
스카이 장비에는 2명 이상 탑승을 금지하고, 안전벨트를 반드시 착용한다.



그림 10. 1, 2번 Ring 설치

(8) 원형돔 시공 완료

이상과 같은 절차로 완성된 폐쇄형 돔 구조물은 그림 11에 나타난 바와 같다.



(a) 원형돔 A



(b) 원형돔 B

그림 11. 시공완료 상태

3.2 반복시공에 따른 효과의 분석

학습효과에 의한 효과를 분석하기 위하여 반복시공된 두 원형돔 A와 B의 공사자료에 대하여 1) 시공조건 분석 2) 반복시공이 자재선별에 미치는 영향 3) 장비투입으로 인한 시간 단축 4) 반복시공에 따른 기능성 향상 5) 공정표 등을 고려하여 분석하면 다음과 같다.

원형돔 A를 시공하였던 학습효과를 통해 설계도면의 오류검토 및 Shop dwg. 검토, 자재 반입 및 야적위치에 대한 검토 등을 수행하여 공사 중 발생할 수 있는 문제점을 미리 대비하는 것이 가능한 것으로 나타났다.

착공 후에는 설계도면의 오류 수정, 공사단계별 적절한 인원투입의 재분포, 마일스톤에 대한 공사장비의 적극적인 투입 조치 등의 학습효과를 도출하여 원형돔 B를 시공할 때 공사기간을 단축하고 공사비용을 절감하였을 뿐만 아니라 시공품질까지 향상시키는 것이 가능한 것으로 나타났다.

원형돔 A와 B의 저장규모는 각각 227ton과 232ton으로 B가 A의 103% 정도의 규모이다. 규모의 차이가 3%로 공사 전반의 성질 및 난이도를 결정할 만큼 크지 않다고 할 수 있지만, 분석에서는 그 차이를 감안할 필요가 있다.

공사 수행시 투입원가에 크게 영향을 미칠 수 있는 것이 위치조건이다. 특히 원형돔과 같이 자재운반과 중장비 사용이 필요로 되는 공사는 시공 위치에 더욱 큰 영향을 받는다. 하지만 이번 연구에서 원형돔 A와 B는 동일 부지 내에 순차적으로 시공되었기에 위치조건에 따른 영향은 없는 것으로 판단된다.

기온이 낮은 동절기는 해가 짧고 콘크리트의 양생 등에 어려움이 있어 투입원가에서 불리하게 작용한다. 원형돔 A의 공사기간은 1~4월로 동절기 공사를 포함하여 시공되었다. 반면에 원형돔 B의 공사기간은 4~7월로 비교적 수월한 시기에 시공되었다. 이를 분석에서 고려하여야 한다.

공사 중 우천으로 인한 비작업일에 대한 것이 반영하면, 원형돔 A의 경우

총 작업일 122일 중 15일 동안 비가 내렸으며, 원형돔 B의 경우 총 작업일 91일 중 12일 동안 비가 내렸다. 이는 각각 12.3%, 13.2%로 원형돔 B가 비 작업일 비율이 약간 높았다. 표 1과 표 2는 원형돔 A, B의 전체공사기간에 대한 인원 및 장비의 5일차의 현황을 나타낸 것이다.

한편, 돔 제품은 설치에 적합하도록 사전에 설계, 제작된 제품으로 손상을 방지하기 위하여 나무 포장으로 되어있다. 원형돔 공사와 같이 해외에서 자재를 수급하는 경우 자재수급 및 선별작업은 매우 중요하다. 이 과정이 제때에 이루어지지 않으면 다음의 2가지 중요한 문제가 발생한다. 첫째는 원가상승으로 자재를 적기에 공급하지 못하면 많은 인력들이 쉬게 되고 이는 원가상승으로 이어지며, 둘째는 공기지연으로 자재 공급이 늦거나 자재가 파손 및 훼손될 경우 그에 따른 비용이 추가로 들 뿐만 아니라 부품이 없어 공사가 중단되는 사태가 발생 할 수 있다. 제품 하나가 들어오는데 최소 1개월에서 2개월이 소요되므로 공사에 치명적인 리스크로 작용할 수 있다.

원형돔의 자재는 부품 가짓수가 많으며, 같은 종류의 부품이라도 구조에 따라 쓰임이 다르므로 도면숙지 및 기능도를 가진 사람이 자재선별에 투입되어야 한다.

따라서 1차로 시공한 인력을 활용하여 자재선별 뿐만 아니라 돔 조립에 용이한 장소까지 적기에 자재를 공급하여 공사기간을 단축하고 공사비용을 절감한 것으로 나타났다.

표 1. 원형동 A의 인원 및 장비투입현황

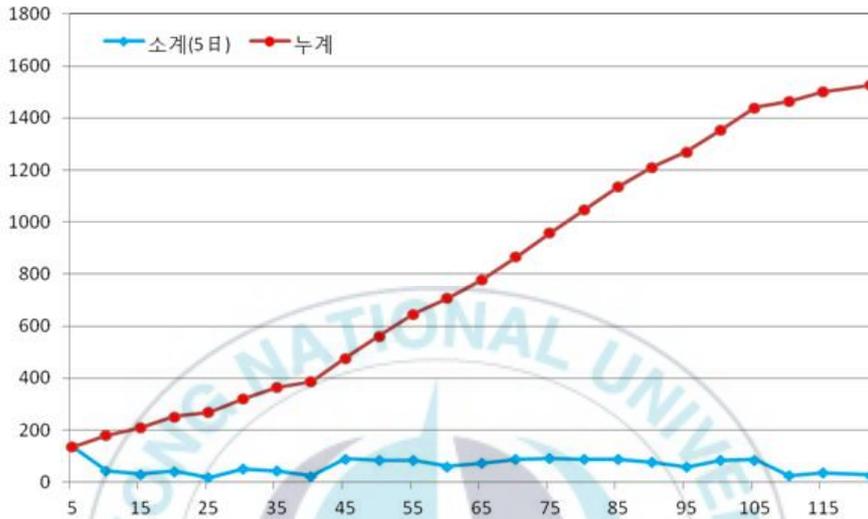
구분 / 기간	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	122	
투입인원	관리	19	5	5	4	2	5	4	2	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	
	철거 반장	16	5	4	4	2	5	4	0	4	5	4	4	5	5	4	5	5	4	5	5	5	5	3	
	기공	68	24	21	25	13	41	36	15	81	75	52	64	77	82	80	79	66	50	73	76	15	25	20	
	조공	32	10	1	9	0	0	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	소계	135	44	31	42	17	51	44	23	90	85	60	72	87	92	89	89	76	59	83	86	25	35	27	
	누계	135	179	210	252	269	320	364	387	477	562	647	707	779	866	958	1047	1136	1212	1271	1354	1440	1465	1500	1527
	지게차	0	0	0	0	1	5	4	0	0	0	0	0	2	5	5	4	4	4	4	4	4	2	0	1
스카이	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	1	1	
카고	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	
크레인 (500톤)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	
크레인 (100톤)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
소계	6	0	0	0	1	6	5	0	0	0	0	2	5	5	4	4	4	4	4	4	13	5	1	2	
누계	6	6	6	6	7	13	18	18	18	18	18	18	20	25	30	34	38	42	46	50	63	68	69	71	

표 2. 원형동 B의 인원 및 장비투입현황

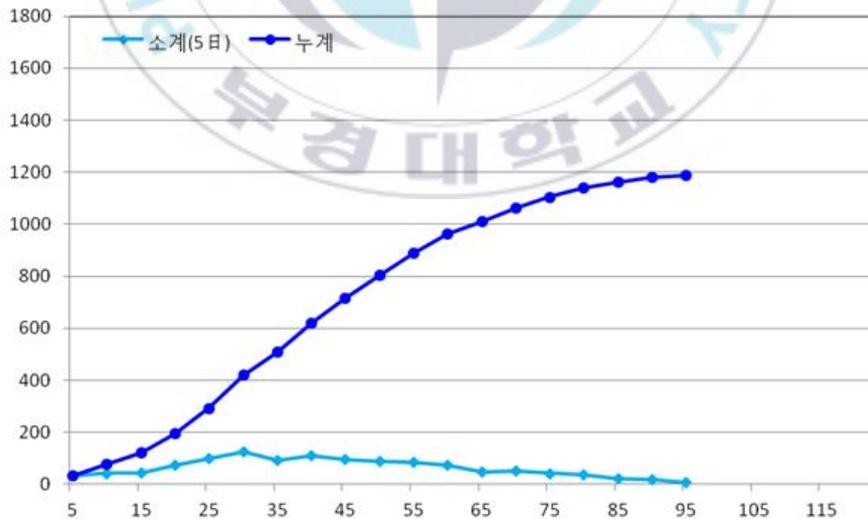
구분 / 기간	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	91	100	105	110	115	122
	관리	4	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	1				
정비인원	0	0	0	0	4	5	4	5	5	5	5	5	3	5	5	4	2	1	0					
기증	30	38	40	69	89	116	83	99	87	79	75	64	39	42	32	27	15	13	6					
조공	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
소계	34	42	45	74	98	126	91	109	97	89	85	74	47	52	42	35	22	18	7					
누계	34	76	121	195	293	419	510	619	716	805	890	964	1011	1063	1105	1140	1162	1180	1187					
지게차	1	2	5	5	5	5	4	5	5	5	2	5	3	2	0	0	1	0	0					
스카이	1	0	0	0	0	0	0	1	5	0	9	4	2	2	0	0	1	0	0					
카고	3	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
크레인 (500톤)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0					
크레인 (100톤)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0					
소계	5	4	6	6	5	5	5	6	10	5	11	9	8	5	0	0	2	0	0					
누계	5	9	15	21	26	31	36	42	52	57	68	77	85	90	90	92	92	92	92					

3.2.1 인원과 장비 투입량의 분석

그림 12는 원형돔 A와 B의 일별 투입 인원을 비교한 그래프이다.

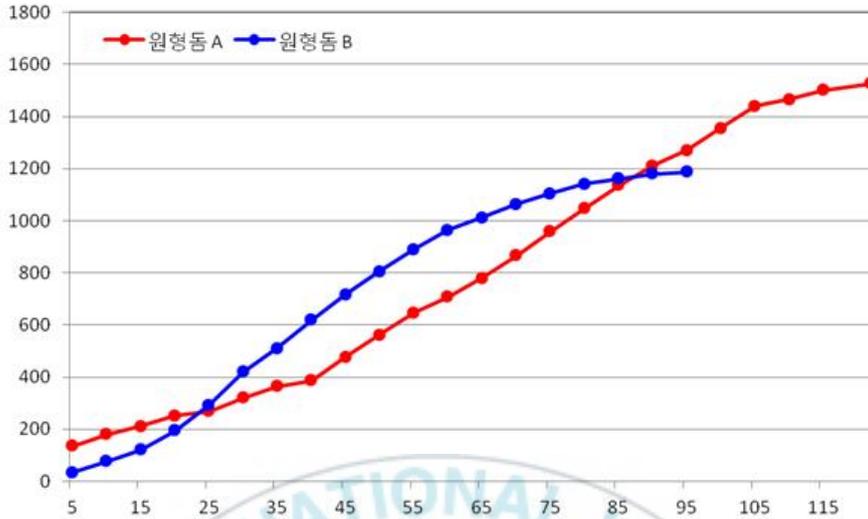


(a) 원형돔 A의 일별 투입인원



(b) 원형돔 B의 일별 투입인원

그림 12. 원형돔 A, B의 일별 투입인원(계속)

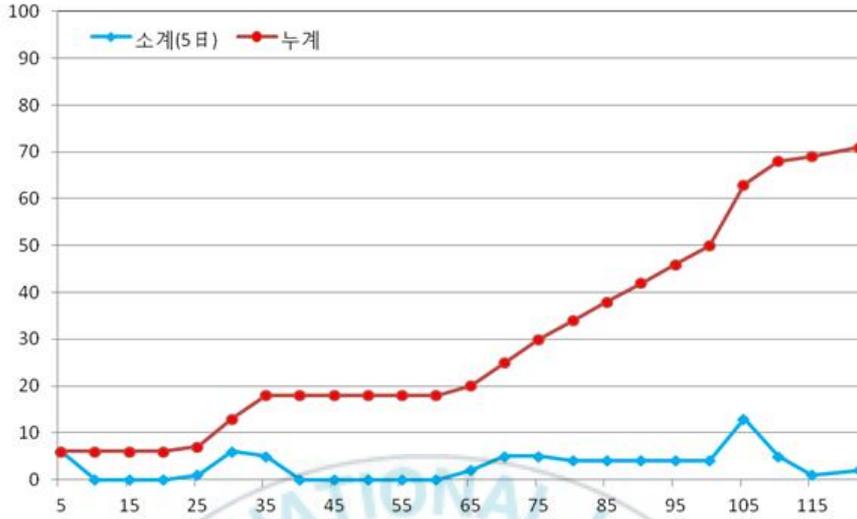


(c) 원형돔 A, B의 일별 누계 투입인원

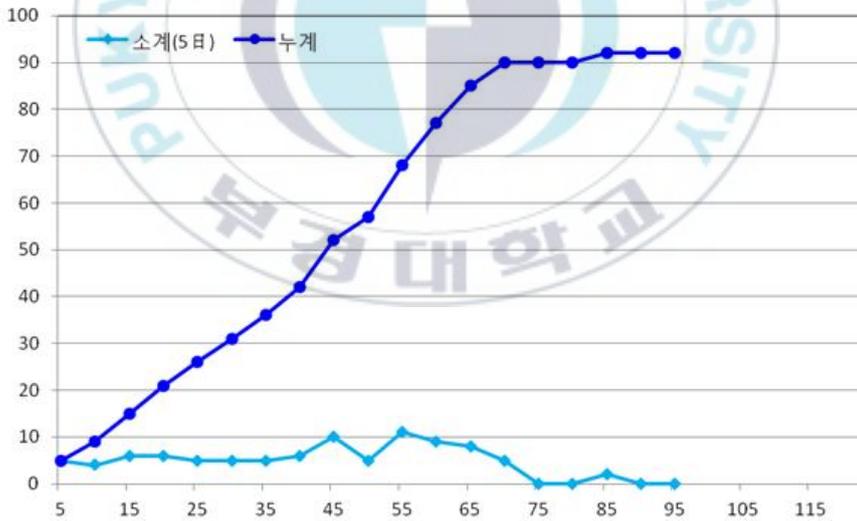
그림 12. 원형돔 A, B의 일별 투입인원

그림 12의 (a)는 원형돔 A의 일별 투입 인원 분석이며, (b)는 원형돔 B의 일별 투입 인원 분석이다. (c)는 두 원형돔의 투입 인원의 누계 값을 비교한 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 원형돔 A보다 B가 총 인원이 340명 적게 투입되었음에도 총 작업일수가 31일 정도 단축되었다. 이는 학습효과에 의해 공사관리의 효율성을 증대시키고 공사비의 절감을 나타낸 것으로 판단된다.

그림 13은 장비 투입을 분석한 그래프이다. 그림 13(a)는 원형돔 A의 일별 장비 투입량 분석이며, (b)는 원형돔 B의 일별 장비 투입량 분석이다. (c)는 두 원형돔의 장비 투입량의 누계 값을 비교한 것이다.

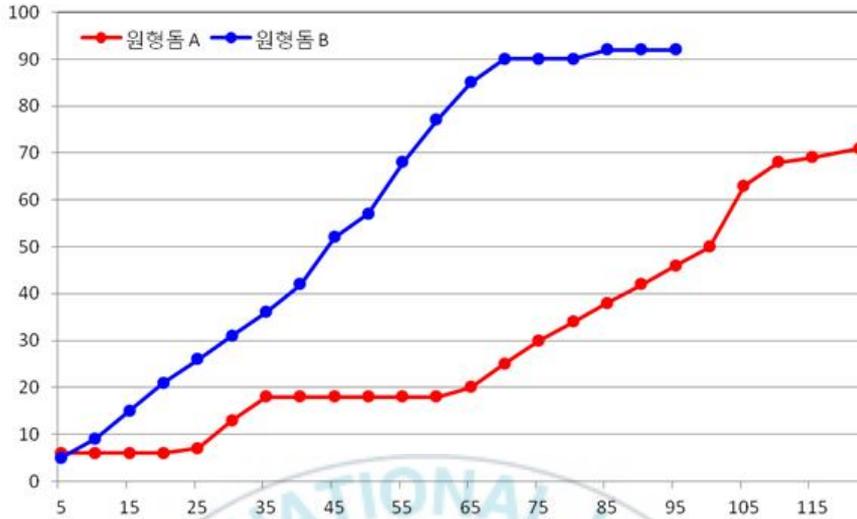


(a) 원형돔 A의 일별 장비투입량



(b) 원형돔 B의 일별 장비투입량

그림 13. 원형돔 A, B의 일별 장비 투입량(계속)



(c) 원형돔 A, B의 일별 누계 장비투입량

그림 13. 원형돔 A, B의 일별 장비 투입량

그림 12에서 분석하였던 인원 투입량과는 반대로 원형돔 B가 장비 투입량이 원형돔 A보다 21여대 더 많이 투입된 것으로 나타났다.

그림 12와 그림 13에 나타난 바과 같이, 누계 투입 인원은 원형돔 A 1,527명, 원형돔 B 1,187명으로 A가 B보다 23% 더 많이 투입되었다. 누계 장비 투입량은 원형돔 A 71대, 원형돔 B 92대로 B가 22% 많은 것으로 나타났다. 즉, 반복시공을 통한 학습효과에 의하여 장비를 적기에 투입함으로써 총 공사기간은 원형돔 A가 122일, 원형돔 B가 91일로 25% 정도 단축되었다.

3.2.2 공사기간의 분석

원형돔 A와 B의 실제 공정표는 그림 14에 나타난 바와 같으며, 공정표에서 월 구분은 실제 1, 2, 3, 4월을 나타내는 것이 아니라 두 원형돔 공정표의 비교분석을 위해 시작점을 동일하게 하여 작성한 것이다. 공정표 상의 관리기준은 공사 예정공정표를 나타내며, 그 아래의 바차트는 원형돔 A와 B의 실제 공정표를 나타낸 것이다.

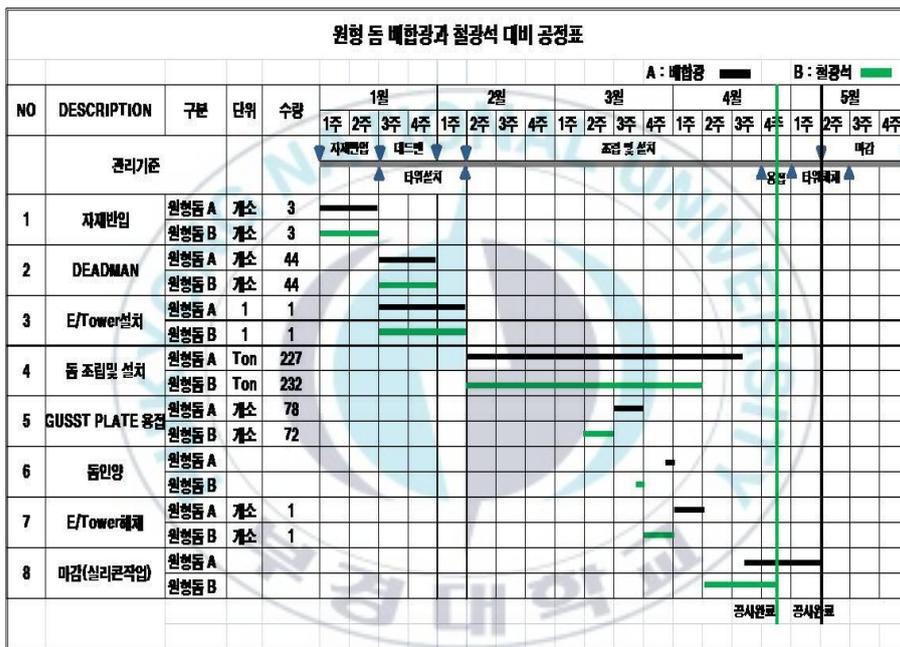


그림 14. 사례현장 공정표

공정표에 나타난 바와 같이 두 원형돔 공통적으로 조립 및 설치 완료 이후 거셋 플레이트(Gusset Plate) 용접을 하는 것이 아니라 조립 및 설치가 진행 중에 거셋 플레이트 용접 작업을 동시에 수행하여 돔인양 작업을 조속히 시작한 것으로 나타났다. 이는 후속 공정인 타워 해체시기를 돔 조립 및 설치 이후 바로 진행 할 수 있도록 하였고, 이를 통해 관리기준인 예정공정표에 비해 두 원형돔 모두 3주 이상의 공기단축 효과를 나타낸 것이다.

착공부터 준공까지 총 작업일은 원형돔A 122일, 원형돔B 91일로 원형돔 B가 A에 이은 반복시공 효과로 31일의 공사기간이 단축되었다.

시공조건 분석에서 언급하였던 바와 같이 공사규모는 원형돔 A 227ton, 원형돔 B 232ton으로 5ton의 차이이다. 공정표 상에서 돔 조립 및 설치 기간은 원형돔 A 65일, 원형돔 B 56일로 1일당 A는 3.5ton, B는 4.1ton을 시공하였다. 따라서 두 원형돔의 공사규모에 따른 차이는 1일 정도의 차이로 미미하고 공정표를 보면 두 원형돔의 시공 순서 및 방법은 동일하다 할 수 있다.

그러나 원형돔 B가 A에 비해 추가적인 공기 단축의 효과는 돔 조립 및 설치단계에서 공사를 단축한 기간이 전체적인 공사기간의 단축으로 이어진 것으로 나타났다.

즉, 3.2.1에서 분석한 바와 같이 인원과 장비를 투입하여야 할 시점을 미리 파악하고 그에 맞게 적정한 인원과 장비를 투입하였기 때문이다. 원형돔 A는 공기단축을 위해 적정인원 이상으로 인원이 투입되었으며 원가절감을 위하여 장비의 투입량을 줄여서 시공되었고, 원형돔 B는 A보다 적은 인원을 투입하였지만 장비 투입량을 증가시켜서 적극적으로 공사기간을 31일이나 단축시키는 공사관리를 한 것으로 나타났다.

이와 같이 인원과 장비의 투입시점과 소요 인원수, 장비 소요량을 파악할 수 있었던 것은 원형돔 B가 원형돔 A에 이어 거의 같은 규모로 반복시공되어 학습효과에 의한 투입자원의 분석과 공정진행에 대한 관리가 적절하게 수행되었기 때문으로 판단된다.

3.2.3 공사원가의 분석

표 3은 vy 1과 표 2에 나타난 원형돔 A와 B의 인원 및 장비 투입에 대한 금액을 나타낸 것이다. 원형돔 A는 B보다 인원에서 28.2% 만큼 더 많이 투입 되었고, 장비는 31%만큼 적게 투입되었다.

표 3. 원형돔 A, B 인원과 장비의 투입금액

구분	투입량		단위가격 (원)	투입금액 (원)	
	원형돔 A	원형돔 B		원형돔 A	원형돔 B
관리직	123	86	150,000	18,450,000	12,900,000
철골반장	113	58	150,000	16,950,000	8,700,000
기공	1,232	1,043	130,000	160,160,000	135,590,000
조공	59	-0	100,000	5,900,000	0
소계	1,527	1,187	-	201,460,000	157,190,000
지게차	49	55	120,000	5,880,000	6,600,000
스카이	6	25	800,000	4,800,000	20,000,000
카고	13	6	250,000	3,250,000	1,500,000
크레인(500T)	3	2	5,000,000	15,000,000	10,000,000
크레인(100T)	0	4	1,000,000	0	4,000,000
소계	71	92	-	28,930,000	42,100,000
합계				230,390,000	199,290,000

인건비는 원형돔 A와 B가 각각 201,460,000원과 157,190,000원으로 원형돔 B가 22.0% 더 적게 투입되었으며 장비비는 원형돔 A와 B가 각각 28,930,000원과 42,100,000원으로 원형돔 B가 45.5% 더 많이 투입되었다.

인건비와 장비비를 합한 총 투입금액은 원형돔 A와 B가 각각 230,390,000원과 199,290,000원으로 원형돔 B가 13.5% 더 적게 투입된 것으로 나타났다.

즉, 원형둑 A와 유사한 규모로 시공된 원형둑 B가 반복작업에 의한 학습 효과로 투입자원 중 인건비는 감소하고 장비비는 증가하였으나 전체 투입금액이 13.5%로 감소한 것으로 나타났고, 공사기간을 31일 단축시킨 것에 대한 간접경비를 고려하면 반복시공을 통하여 원형둑 B가 원형둑 A에 비해 효율적인 공사를 수행한 것으로 분석되었다.

3.3 반복시공에 따른 공사관리의 개선사항

실제 원형둑 A를 시공하면서 발생하였던 문제점을 이후 반복시공된 원형둑 B에서 개선한 공사관리에 대한 개선사항은 다음과 같다.

(1) 연약지반 치환공법과 사면 구배 부적격 사항의 개선

연약지반 치환공법 부적격으로 인하여 작업효율이 저하되고 공사기간이 증가한 사례의 첫째 원인은 설계오류와 토공작업으로 기인한 것이다. 즉 설계당시 대심도(H=9.5m)에 대한 지반개량공법인 쇄석치환이 적정하지 않았고 현장에서는 당초 설계대로 시공하였으나, 설계단계에서 지반보강 범위 및 치환두께를 반영한 적정 연약지반 개량공법으로 변경하여 시공하는 것이 타당한 것으로 나타났다.

두 번째 원인은 불량토 사토장에 대한 계획이 미비하였던 것으로, 사토수량이 470,000m³로 적지 않음에도 사토장 미확보로 공사기간이 증가되었고 이를 해결하기 위해 시공구간 주변의 민원을 처리하고 야적장을 확보한 후 작업을 재개한 것으로 나타났고 연약지반 치환시 굴착 사면구배 역시 문제가 되었는데 이는 설계당시 연약지반 굴착에 대한 사면검토가 미흡하였던 것이다. 이에 현장 지반조사 결과를 반영하여 굴착사면 구배를 재설계하여 문제를 해결하는 것이 적절한 것으로 판단하여 설계당시 구배 1:1.5에서 1:3으로 변경하여 시공하여 공사관리를 개선하였다.

(2) 연약지반 치환단면과 자재 부적격 사항의 개선

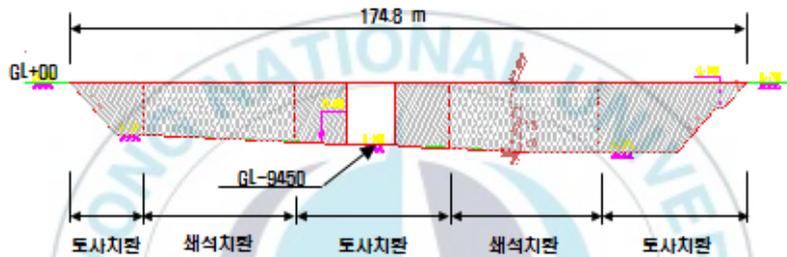
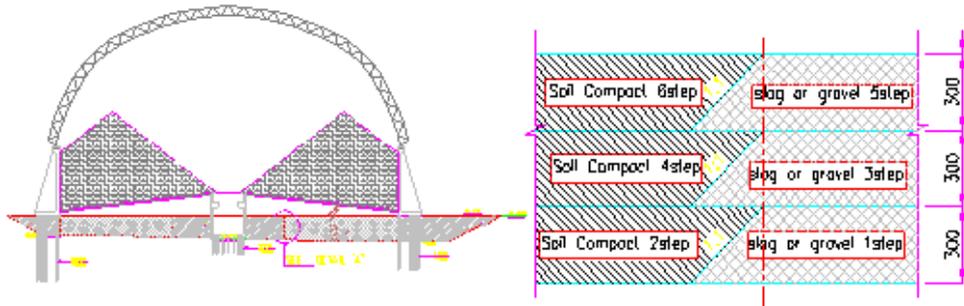


그림 15. 원형철광석 #1,2 평/단면도

연약지반 치환시 치환 자재가 상이하여 작업효율저하 및 공사기간이 증가한 사례의 경우, 설계당시 호퍼(Hopper) 및 용벽부는 토사치환, 최대 적재부는 쇄석치환으로 설계가 되었다. 이는 치환자재간 연결부위에서 단면이 부적정하여 다짐 등 품질확보에 어려움이 있었던 사항에 대해 치환재료를 동일한 재료로 설계하고 작업효율을 개선하고 다짐 등의 품질을 확보하면 공사를 개선할 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 연약지반 치환과 다짐 불량률의 개선

현장을 준공한 후에 철광석을 적재 하였더니 외부 배면 지반에 변위가 발생한 것을 그림 16에 나타낸 것으로 이 원인은 세 가지로 나타났으며 첫 번째 원인은 설계오류로 설계당시 철광석의 단위중량을 2.3ton/m³으로 설정하였으나 실제 반입된 철광석이 단위중량은 3.3ton/m³으로 차이가 있었다. 두

번째 원인은 연약지반 쇄석치환을 할 때 다짐 품질확보가 미흡하였던 것이고 마지막 원인은 철광석 적재고의 관리가 제대로 이루어지지 않았던 것으로 나타났다. 이러한 시공불량에 대해 적재고를 준수하도록 조치한 후 지반을 복원하고 슬래그를 포설하여 문제를 해결하는 것이 적절한 조치로 나타났다.



그림 16. 철광석 적재 직후 지반 변위 발생

즉, 이러한 사례가 발생되지 않도록 설계를 할 때에 실제 단위중량과 최대 적재하중을 고려하여 적정 단위중량을 적용하여 설계를 하여야 하고, 연약지반 치환공법 적용할 때 철저한 층다짐 시공을 하여 추후 침하가 발생되지 않도록 하며 원자재 최초 반입시 반입 철광석 단위중량을 고려하여 적재고를 관리하여야 하는 것으로 나타났다.

(4) 우배수 시설 누락의 개선

설계당시 배수시설이 누락되어 준공 이후 우천시 빗물이 저장설비 내부로 유입되고 외부 벽체로 흘러내려 미관이 손상되는 사례는 그림 17에 나타낸 바와 같으며, 이는 설계를 할 때 코핑부에 배수시설을 설치하면 용이하게 개선할 수 있다.

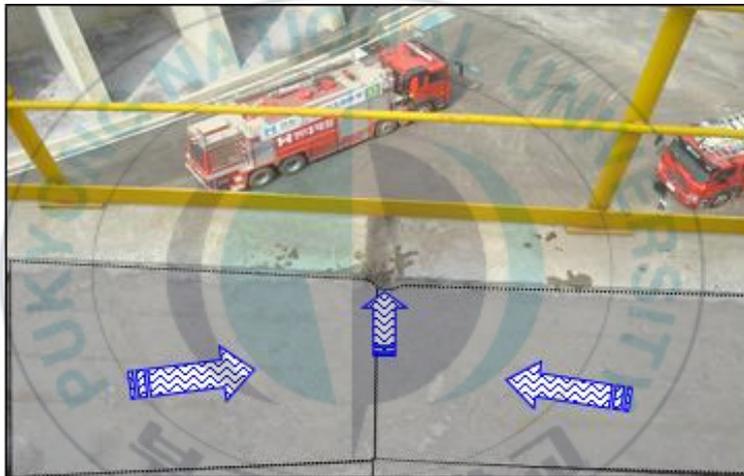
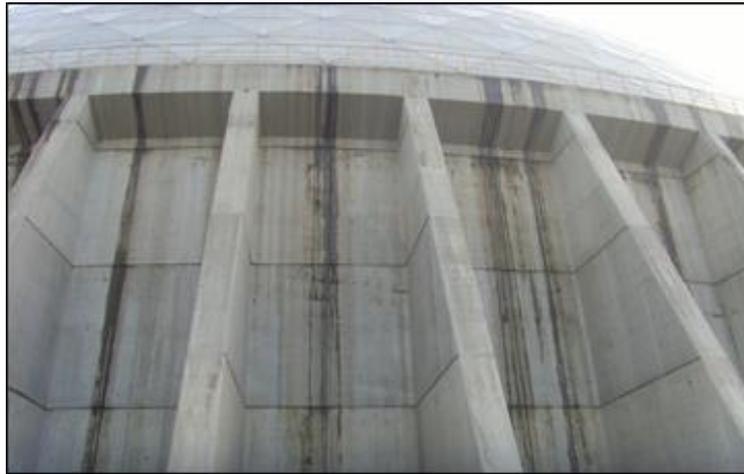


그림 17. 우천시 낙수로 인한 미관손상

(5) 배합광 벽체와 B/C기초 접합부 설계 개선

원래에는 그림 18과 같이 ① 기초 콘크리트 타설 ② 벽체 타설 ③ 토공 되메우기 ④ B/C 기초타설의 순서로 설계가 되어 있었으나 공사비와 공사 기간이 지나치게 많이 소요된다고 판단되어 Reclaimer 기초를 확대하는 방안을 검토하고 적용하여 콘크리트 물량은 527m³ 증가하였지만, 타설단계를 축소하여 1 스펠을 기준으로 하여 공사기간을 41일에서 36일로 개선시킨 것으로 나타났다.

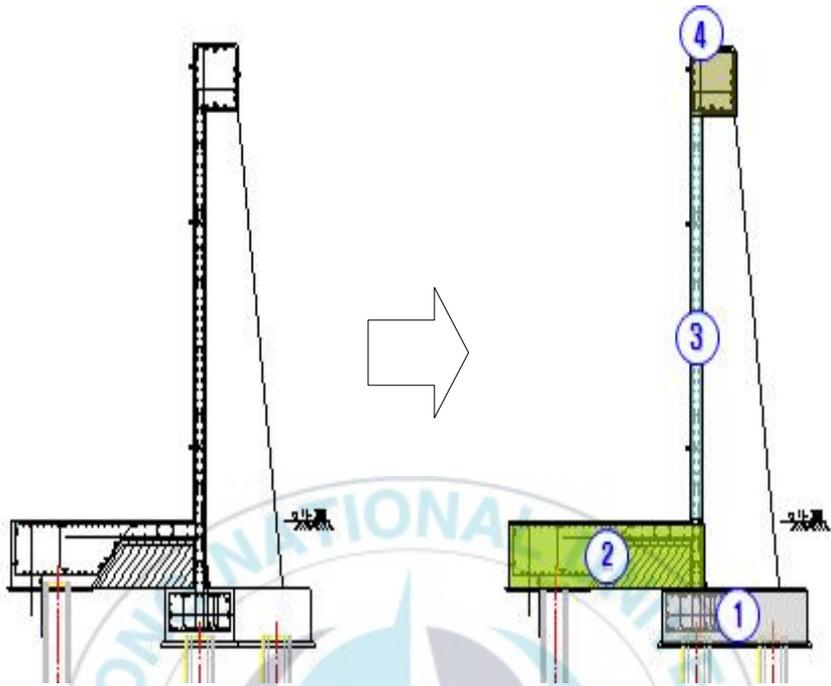


그림 18. 접합부 당초 설계

이와 같은 5가지의 공사관리 개선사항은 원형돔 A를 시공하면서 나타난 문제점과 시공불량을 유사한 규모로 시공되는 원형돔 B 공사에 적용하여 반복시공에 따른 효과를 얻은 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구에서는 제철소 야적장에서 발생하는 대기오염을 줄일 수 있는 밀폐형 돔 구조물의 시공사례를 조사하여 시공방법과 문제점을 분석하고, 밀폐형 돔 구조물 반복 작업의 학습효과에 의해 공사기간과 노무비에 미치는 영향을 분석하여 공사관리 개선방안을 도출하고자 하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 선행 시공된 사례를 면밀하게 분석하여 설계도면의 오류의 최소화, 공사단계별 인원의 적절한 투입, 마일스톤에 대한 공사장비의 적극적인 투입 등의 반복 작업으로 인한 학습효과를 도출하여 거의 같은 규모로 시공된 현장의 공사기간을 25%가 단축시킨 것으로 나타났다.

2. 유사한 규모의 시공사례에 대한 분석을 통하여 적절한 시기에 장비를 과감히 투입하여 장비의 비용이 45% 정도 증가하였지만 인건비가 22% 정도 감소하여 총 13.5%의 원가 절감 효과를 나타내어 학습효과에 의해 원가를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

3. 폐쇄형 돔 구조물의 시공사례에 대한 분석을 통하여 도출된 연약지반 치환시 문제점과 우배수 시설누락에 따른 미관손상 등과 같은 하자를 유사한 규모로 시공되는 공사에 적용하여 반복시공에 따른 효과와 품질 향상이 타났다.

참 고 문 헌

1. Arditi, D., Tokdemir, O. B., and Suh, K., "Effect of Learning on Line-Balanced Scheduling", Journal of Construction Engineering and Management, v.128 n.6, 2002
2. 권동혁, 김한수, 고층사무소 프로젝트의 시공성 항목 분석에 관한 기초연구, 한국건설관리학회 2002년도 가을학술대회논문집, pp.235-238, 2002
3. 김민정, 포스코 광양 제철소 인근 지역의 환경 불평등, 사회과학 담론과 정책, v.2 n.2, pp.1-23, 2009
4. 김민정, 포스코 광양제철소 인근 지역의 환경문제와 주민들의 환경권, 사회과학연구, pp.496-531, 2008
5. 김석구, 문석용, 청도 투우장 지붕뚫 구조설계와 시공, 건축구조 v.11 n.3, pp.43-48, 2004
6. 송성진 외5인, 건축일반구조학, 문운당, 2007
7. 송호산, 건축의 구조 디자인, 기문당, 2013
8. 신현식, 김문한, 김무한, 건축시공학, 문운당, 1988
9. 양용철, 조병후, 오창희, 조립식 아파트 부재조립작업의 습열효과, 대한건축학회논문집, v.10 n.2, pp.157-162, 1994
10. 이경수, 한상을, 케이블돔 구조시스템의 시공과정 및 안정화 이행과정 해석, 대한건축학회논문집 구조계 v.27 n.3, pp.55-64, 2011
11. 이재섭, 작업 생산율을 고려한 공기지연 분석방법, 대한건축학회논문집 구조계, v.22 n.5, pp.203-210, 2006
12. 이재섭, 학습효과와 선형계획법을 이용한 건설공사 공기지연 분석방법, 대한건축학회논문집 구조계 v.24 n.5, pp.185-192, 2008

13. 이종태 외9인, 지역주민 환경오염 노출수준 및 생체지표 모니터링 방법에 대한 연구, 한국환경보건학회지, v.34 n.3, pp.188-198, 2008
14. 장화균 외7인, 건축일반구조학, 기문당, 2007
15. 전세진, 김영진, 콘크리트 격납구조물 돔과 링빔의 개선된 설계기법, 콘크리트학회논문집, v.22 n.6, pp.817-824, 2010
16. 정상진 외8인, 건축일반구조학, 기문당, 2010
17. 한국토지주택공사 건설관리처, 공사감독 핸드북, 도서출판 건설도서, 2013
18. 홍은주, 안기섭, 정은경, 최재호, 손부순, 광양 제철소 주변지역 거주자들의 폐기능과 영향 요인, 한국환경보건학회지, v.37 n.3, pp.182-192, 2011
19. 황보석, 돔 건축의 구조계획, Journal of the KARSE, v.19 n.12, pp.52-67, 2002

