



이 해 광 / hkleee-e@skec.co.kr

정유 플랜트 프로젝트의 시공성 검토 방안

한양대학교 플랜트엔지니어링 석사
(현) SK건설 부장

1. 서 론

정유 플랜트 프로젝트에서 현장 경험자들이 항상 겪는 애로 사항 중에 현장의 시공성(Constructability)의 문제가 항상 대두되어 왔으며, 이러한 현장 애로 사항들의 대부분은 설계시에 결정 및 적용되는 시공 방법과 연관되어 진다. 설계 시점에 고려되어야 하는 사항 중에 가장 중요한 부분 중의 하나가 현장에서의 경제적, 효율적인 시공인 것을 충분히 주지하고 있으면서도, 실제로는 정형화된 시공성 검토(Constructability Study) 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입이 설계시점에서부터 이루어지지 않기 때문에, 현장 시공자들은 대부분 반복되는 애로 사항을 경험하고, 따라서 불필요한 공기 지연 및 추가 공사비를 부담하고 있는 실정이다. 이를 효율적, 경제적으로 수행하기 위하여 선진 Engineering 회사에서는 각각의 시공 공정에 대한 Modeling을 통하여 시공성 검토를 수행하는 Expert System이라든가, 자동 시공성 검토 Feed back System 또는 Reasoning Mechanism등을 개발하고 있는 실정이다. 그러나 국내에서는 현재 수많은 해외 우수 건설회사와의 경쟁 하에서 EPC 건설 공사 시 경쟁력 우위를 확보할 수 있는 요인 중의 하나인 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입이 일부 설계, 시공 인원에서만 형식적으로 검토되어 질뿐, 프로젝트 수행 과정중의 주요한 제도적인 절차로서 정착되어 있지 않은 실정이다. 아울러, 각종 연구 및 보

고 결과에 따르면, 설계나 시공 계획 초기 수립 시점에서부터 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입을 고려한 프로젝트에서는 상당액의 공사비 및 공기 단축을 꾀 할 수 있음이 보고되고 있다. 따라서, 이러한 반복되는 현상을 극복하고, 설계 인원으로 하여금 현장 시공성을 고려한 효율적인 기본, 상세 설계를 돕기 위하여, 프로젝트의 초기 시점에서부터 정형화된 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입에 대한 검토가 이루어져야 하며, 이는 프로젝트에 참여하게 되는 모든 구성원들에 의해 절차화 되어 최적의 조건을 검토, 분석케 하는 것이 필요하다.

프로젝트의 수행 시 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법 도입의 필요성에 따른 장점에 대하여 꾸준히 인식되어 왔지만, 이러한 시공성 검토의 향상을 위한 제도적인 과정 수립 및 실제 검토가 제대로 수행 되지 않은 상태에서 프로젝트가 종결되는 것이 대부분의 실정이다. 이러한 상황은 설계자의 시공 환경 및 필수 요건의 미 습득 및 불충분한 이해를 비롯하여, 프로젝트 수행 시 공정별로 세분화되어진 프로젝트 수행 그룹간의 Coordination부재, 설계자 및 시공자 사이의 추구 목적 불일치 등으로 기인하는데, 현재의 대내외적인 환경 하에서 국제적인 경쟁력을 보다 강화시키려면 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입 노력이 선행되어야 하는 것은 당연한 결과라 하겠다.

시공성 검토라는 용어는 건설 산업 분야에 국한



되어 사용되는 용어이다. 특히 토목 건설 산업, 건축 건설 산업 분야에서는 많이 사용되는 개념이나, 현재까지도 플랜트 산업 분야에서는 막연한 용어에 대한 정의만 이해하고 있을 뿐 현장에 구체적으로 적용한 사례는 극히 드문 것이 현실이다. 따라서 플랜트 산업 분야에 시공성 검토를 적용하고 활성화하기 위한 방안을 제시하고자, 첫째로, 외국의 연구기관에서 보고되어진 시공성 검토 방법에 대해 소개하고 둘째로, 효율적인 시공성 검토를 수행하기 위한 시공성 검토 적용 범위에 대한 연구와 시공성 검토에 따른 경제적 비용절감 사례 등 해외 저널에 발표된 국외의 연구 자료와 국내외 사례를 조사하여 국내 플랜트 엔지니어링 회사가 정유 플랜트 프로젝트에 시공성 검토를 도입하고 성공적으로 적용하여, 궁극적으로는 프로젝트 목적을 달성하는데 필요한 조직, 절차 및 활성화할 수 있는 방안을 제시하였다.

2. 시공성 검토의 개요 및 목적

2.1 시공성 검토의 개요

시공성 검토(Constructability Study)란 Plant 건설 공사 수행 시에 효과적이고도 안전한 시공 및 시공 과정에서 야기될 수 있는 시공 방법 변경을 최소화하기 위하여 설계, 구매, 시공 계획 및 현장 운용에 전반적으로 반영해야 하는 최적 시공 방법의 검토를 말한다.

시공성(Constructability)이란 설계와 시공을 연결하여 경쟁력을 높이고 원가 운영을 효과적으로 하는 것이다. 예부터 많은 프로젝트를 하면서 설계와 시공은 별개로 여겨져 왔다. 그러나 이제 시공 지식을 건설 전 공정에 적용함으로써, 결과적으로 현장 운영을 효과적으로 할 수 있다. 이는 프로젝트 전반에 걸쳐 매우 중요한 부분을 차지한다. 따라서 프로젝트 운전성(Operability), 유지 및 보수성(Maintainability), 미적 요소(Aesthetic goals)등을 고려한 최적의 시공 조건

을 제고하는 것이다. 그리고 이러한 조건들은 바람직 해야 하고 실현 가능성이 있어야 하며 전체적으로 균형을 이루어야 한다. 또 시공 지식과 경험의 적용은 위의 균형을 지향하는 수단으로 매우 중요하다. 따라서 시공성을 검토하기 위한 방편으로 아래에 나열된 사항과 같은 일반적인 사항들이 프로젝트에 관련된 유관 부서를 통하여 기본, 상세 설계 시점에서부터 현장의 효율적인 시공성 및 경제적인 시공에 대한 최적의 조건을 준비하기 위하여 검토되어야 한다.

- 1) Module 또는 Pre-assembly 방법 검토
- 2) 중복되는 Element의 표준화 작업
- 3) 효율적인 Lifting 장비의 고려
- 4) Material Lay-down Area의 고려
- 5) Prefabrication Workshop의 고려
- 6) Fabrication 및 Erection 시의 용이성
- 7) 설계 시 3-D CAD Modeling을 이용한 간접 검토
- 8) 각종 배관계의 현장 용접량의 검토
- 9) 현장 진입의 용이성 및 중장비의 진입가능성 검토
- 10) 시공성을 고려한 시방서의 변경
- 11) 설계 인원과 시공 인원과의 원활한 의사소통
- 12) 현장 재시공의 최소화
- 13) 현장 설계 변경의 최소화
- 14) Underground 시공성
- 15) 하도 운영 계획

2.2 시공성 검토의 목적

시공성이란 간단히 말해 프로젝트의 목표를 달성하기 위하여 시공 경험과 지식을 계획(Planning), 설계(Engineering), 구매(Procurement) 및 현장 운영(Project Operation)에 최대한 적용하여 활용하는 것이다. 이는 시공지식과 경험을 지닌 사람들을 프로젝트 초기 시작 시점인 설계 계획 단계부터 참여시켜 설계와 시공을 연결하여 경쟁



력을 높이고 원가 운영을 효과적으로 하는 것이다. 현재까지 많은 프로젝트를 수행하면서 설계와 시공은 별개로 여겨져 왔다. 그러나 이제는 시공 지식과 경험을 프로젝트 전 공정에 적용함으로써, 결과적으로 프로젝트 운영을 효과적으로 할 수 있다.

성공적으로 프로젝트 목적을 달성한다는 것은 적은 원가(Cost Saving), 높은 품질(Higher Quality), 공기 단축(Schedule Improvement), 안전시공(Safer Work), 그리고 조기 상업 운전 및 운영 등을 의미한다. 이를 위해서는 프로젝트 초기 시작시점부터 시공 지식 및 경험을 보유한 인력들이 참여하여 최대의 성과를 이룰 수 있어야 한다.

이와 같이 시공성 검토의 목적은 다음과 같은 프로젝트의 목적을 달성 하는 것이다.

- 1) 공법 개선 및 재시공 최소화를 통한 원가 절감(Cost Savings)
- 2) 사전 자재 납기 및 불필요한 시간을 줄여 공기 단축(Schedule Improvement)
- 3) 사전 시공절차 검토에 따른 안전 시공(Safer Work)
- 4) 설계단계에서의 시공성 검토를 통한 최종 제품의 품질 개선(Higher Quality)

3. 시공성 검토에 대한 연구사례 분석

시공성 검토가 프로젝트 수행에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 시공성 검토 연구를 주목적으로 발주자, 시공자 및 학계가 협력하여 설립한 미국 건설 산업 연구원 CII(Construction Industry Institute)의 Constructability Implementation Guide와 CII에서 효과적인 시공성 검토를 위한 적용방법에 대해 연구 보고된 CII Report B-3, Construction Technology Needs and Priority, Construction Industry Cost

Effectiveness Project Report에 대하여 고찰하였다.

3.1 시공성 검토 적용 시점

Construction Industry Institute에서는 표 1과 같이 프로젝트 수행 전체 공정에 대하여 시공성 검토를 적용함에 따른 영향을 High/Moderate/Low의 정도를 기준으로 예시하였다. 표 1에 따르면 프로젝트 전체 수행 단계 중 시공성 검토를 적용함에 따라 큰 영향을 미치게 되는 단계는 대부분 프로젝트 수행 초기 계획 단계, Engineering 초기 단계라 할 수 있겠다. 따라서 기본 설계(Basic Design)단계부터 주요한 부분의 시공 방법(Major Construction)을 고려해서 접근해야 한다. 이러한 개념은 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위해서는 Conceptual Planning 단계에서부터 시공성 검토가 고려되어야 한다는 말을 의미한다. 왜냐하면 Cost에 가장 영향을 미치는 단계가 Conceptual Planning단계이기 때문이다.

3.2 시공성 검토 적용 범위

Construction Industry Institute에서는 시공성을 향상 할 수 있는 적용 범위에 대한 연구의 일환으로써, 건축 사업 분야, 경공업 사업 분야, 중공업 사업 분야 및 발전 사업 분야에 대하여 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입이 전체 사업에 미치는 기여도(이하 시공성 지표)에 대해 조사하였다.

이 조사에서는 시공 편이성을 1에서 10까지 분류하고(1일 때 가장 시공이 용이함) 각 조사 분야의 세분화 개별 공정에 대하여 시공성 지표(Indicator of Inefficiency or Construction Difficulty)를 조사하였다. 여기에서 높은 시공성 지표는 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입 시 현저한 시공 경비 절감 효과 및 공기 단축을 가져오는 결과를 나타내는 것을 의미한다.

17개의 세부 공정에 대한 15가지 설문 내용으



〈표 1〉 Overview of Constructability Application Matrix for Industrial Construction

Constructability Application Matrix for Industrial Projects by Phases					
Constructability	Phase				
	Concepts and Feasibility	Process Design	Preliminary Engineering	Detailed Design and Procurement	Construction and Installation
1-1 Constructability programs an integral part of project execution plan.	High	High	High	Low	
1-2 Project planning involves construction knowledge and experience.	High	High	High	Moderate	Low
1-3 Early construction involvement in development of constructing strategy	High	High	High	Low	
1-4 Project schedules construction sensitive.	High	High	High	Moderate	Low
1-5 Basic design approaches consider major construction methods.		High	High	Low	
1-6 Site layouts promote efficient construction.	High	High	High		
1-7 Project lean participants responsible for constructability are identified early-on.		High	High	Low	
1-8 Advanced information technologies are applied throughout project.	Low	Moderate	High	High	High
2-1 Design and procurement schedules are construction sensitive.		High	High	Moderate	
2-2 Designed to enable efficient construction		High	High	High	
2-3 Design elements are standardized.		High	High	High	
2-4 Specifications are overlapped for construction and procurement efficiency.			High	High	
2-5 Designed for modularization & presumably to facilitate fabrication & transportation.		High	High	Moderate	
2-6 Designed for accessibility of personnel, materials and equipment.			High	High	
2-7 Designed for construction in adverse weather and remote locations.		High	High	Moderate	Low
2-8 Design and construction sequencing should facilitate system turnover and start-up	Moderate	Moderate	High	High	High
2-9 Contractor use of innovative construction methods.				Moderate	High



로 구성된 시공성 지표 설문 조사지를 사용하여 미국 내에서 수행된 각종 건설 사업 분야를 건축 사업, 경공업 사업, 중공업 사업 및 발전 사업 분야의 4개 유형별로 구분하여 시공 관련 Owner, 시공회사 및 설계회사 등 53개의 회사에 현직으로 근무하고 있는 책임자 및 공사 부장 직위의 전문가들에게 시공성 지표를 의뢰하였다. 이렇게 하여 높은 시공성 지표를 나타낸 분야에 대해서는 기술, 소요 공사비 및 공사에 소요되는 기간에 대한 보다 향상된 경쟁력을 위한 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입이 요구되며, 아울러 각각의 공종에 따라 시공성 지표의 편차가 있음을 알 수 있게 하였다.

3.3 시공비 비율 분석

시공성 지표 조사 결과, 건축 사업 또는 경공업 사업에서는 토목 기술(기초 공사, 철골, 마감공사 등)에 대해 높은 지표가 산출되었고, 중공업 사업 또는 발전 사업에서는 노동 집약 분야인 기계 및 전기 공사에서 높은 지표가 산출되었다. 이러한 사항에 대해 해당 공종에 대한 시공비의 비율 표를 분석해 보면 시공비 비율 또한 현저함을 알 수 있다.

Construction Industry Institute에서는 시공성 지표 조사를 의뢰하면서 동시에 시공비 비율과 노무비 비율을 4개 사업 분야별, 사업 규모별로 Random Sampling된 각 1개씩의 프로젝트를 선정하여 건축 건설 분야(\$25million), 경공업 건설 분야(\$120million), 중공업 건설 분야 (\$190million) 및 발전 건설 분야(\$470million)에 대하여 조사 하였다.

표 2는 각각의 공사에 있어 17개 공종 분야에 대한 시공비 백분율을 나타낸다. 표에서 보는 바와 같이 건축 사업 및 경공업 사업에서는 약 62%의 공사비가 토목 공정에 속하며, 중공업 사업에서는 24%, 발전 사업에서는 31%의 공사비가 토목에 속함을 알 수 있다. 또한 중공업 및 발전 사

업 분야에서는 기계, 전기 및 계장 공사에서 높은 직접비 비율을 나타내고 있다.

각기 공사의 성격에 따라서 직접비 투입(공사비 및 노무비) 현황이 현저히 차이가 나타나므로, 시공성 검토 및 최적의 시공 방법 도입으로 인한 전체 공정 진척도 및 공사비 절감 효과는 건축 건설 및 경공업 건설 분야, 중공업 건설 및 발전사업 분야에서 다르게 나타날 수 있다.

3.4 시공성 지표 분석

시공성 지표 조사에서 한 가지 중요한 사항으로 고려 된 것은, 각 공종별 중요도 뿐 아니라 동일 검토 분야의 적용 공사비도 같이 고려되어야 하므로, 시공성 지표를 공사비로 차지하는 비율의 가중치를 곱한 값으로 보정하였다. 예를 들면 시공성 지표 설문 값이 7이고, 공사비 비율 가중치가 11.6%라면 최종 시공성 지표 값은 81.2가 된다. 이렇게 하여 높은 시공성 지표를 나타낸 분야에 대해서는 기술, 소요 공사비 및 공사에 소요되는 기간에 대한 보다 향상된 경쟁력을 위한 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입이 우선 요구되며, 아울러 각각의 공종에 따라 시공성 지표의 편차가 있음을 알 수 있게 하였다.

표 3은 상기에서 언급한 최종 보정값을 4개 사업 분야별, 17개 세부 공종별로 나타내었다. 이 표에서 50 이상의 지표를 갖는 공종분야는 각 프로젝트의 공사비 부분에 큰 영향을 미치는 것을 의미하므로 이 공종 분야에는 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입을 선행되어야 함을 의미한다.

3.5 시공성 검토 적용 분야 선정

시공성 지표를 검토한 결과 상기 표 3에 나타난 바와 같이 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입이 필요한 우선 적용 분야는 각 사업 분야마다 약간씩 상이하나, 시공성 지표 및 각 공사



<표 2> 사업 유형별 공사비 Labor 투입 백분율 (%)

	건축 건설	경공업 건설	중공업 건설	발전소 건설	
평균 공사 금액(Mil US \$)	\$25	\$120	%190	\$470	
Peak시 Man-power load(Man-Month)	300	600	900	1,600	
Labor 투입 상황 (%)					
Boilermakers	1	1	2	11	
Carpenters	16	14	2	1	
Cement finishers	7	4	2	1	
Electricians	11	10	17	15	
Equipment operators	1	2	4	2	
Insulators	1	2	4	2	
Instrument	1	3	5	1	
Ironworkers	14	9	7	10	
Masons	4	6	1	1	
Millwrights	1	1	1	1	
Laborers/Helpers	17	14	10	13	
Painters	4	3	2	2	
Pipe fitters	9	14	22	18	
Riggers	1	1	2	0	
Roofers	2	3	1	1	
Teamsters	1	3	2	2	
Welders	1	2	4	1	
Others	5	3	1	3	
시공비 투입 상황 (%)					
Civil	Earthwork	4.8	4.3	3.3	6.2
	Foundations	3.3	7.2	7.5	10.4
	Structure	26.9	17.2	8.2	9.7
	Enclosure skin	15.2	7	1.7	1.8
	Interior finishing	11.6	8.5	1.6	2.2
Mechanical	Roofing	2.1	3.9	1.1	0.8
	Piping	3.4	11.6	23.9	16.1
	Plumbing	2.2	3.7	1.5	1.4
	Vessels	2	1.4	7.3	3.9
	HVAC	6.5	8.4	2.3	2.9
	Mechanical equipment	5.4	6	9.9	18.5
Other	Special equipment install	1.4	5.7	3	5.3
	Electrical	8.5	11.3	15	14.1
	Instrumentation	1.6	2.1	6.4	2.9
	Insulation	0.8	0.9	3.8	1.6
	Coatings & painting	2	1	2.1	1.6
Fireproofing	20	2.5	1.4	0.6	

비 배분현황에서 나타난 바와 같이 아래와 같은 공종 분야에 우선적으로 적용 되어져야 함을 알 수 있다. 그 정도를 4개의 카테고리로 구분하여 정리하면 다음과 같다.

1) Area of Highest Overall Potential

- 배관 공사(Piping)
 - 기계 공사(Mechanical Equipment Installation)
 - 전기 공사(Electrical)
- 2) Areas of High Overall Potential
- 철골 공사(Structure)



<표 3> 시공성 지표

세부 공종	건축 건설	경공업 건설	중공업 건설	발전 건설
Earthwork	22	12	8	16
Foundations	13	25	24	36
Structure	124	72	31	33
Enclosure Skin	87	26	5	5
Interior Finishes	63	35	5	7
Roofing	10	15	3	2
Piping	19	51	146	97
Plumbing	13	14	5	6
Vessels	12	6	31	16
HVAC	37	43	9	13
Mechanical Equipment	34	34	52	93
Special Equipment Install	9	37	17	27
Electrical	52	61	78	73
Instrumentation	11	12	36	16
Insulation	4	3	13	6
Coatings and Painting	12	6	6	6
Fireproofing/Protection	10	6	4	2

- 압력/비압력 용기공사(Vessels)
- 공조 시스템 공사(HVAC)
- 특수 기기 공사(Special Equipment Installation)
- 계장 공사(Instrumentation)

3) Areas of Medium Overall Potential

- 기초 공사(Foundations)
- 마감 공사(Enclosure Skin)
- 내부 마감 공사(Interior Finish)
- 지표 공사(Earth Work)

4) Areas of Overall Potential

- 지붕 공사(Roofing)
- 도관 공사(Plumbing)
- 보온 공사(Insulation)
- 도장 공사(Coating & Painting)
- 내화 공사(Fire Proofing and Protection)

Construction Industry Institute 연구결과를 고찰한 검토 결과를 종합해보면 정유 플랜트 프로

젝트에서 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입 우선 적용 대상은 배관 공사, 기계 설치 공사, 전기 공사, 계장 공사, Vessel, HVAC, Concrete 공사 및 철골 공사로 선정되어야 함을 알 수 있다. 전체 공사의 공기 및 공사비의 절감 등 프로젝트의 목적을 달성하기 위해서는 우선 적용 대상을 중심으로, 시공성 검토 방법을 집중적으로 도입함으로써 시공성 향상을 통한 프로젝트 목적을 달성하는데 큰 영향을 미치게 됨을 알 수 있다.

4. 시공성 검토 적용 사례

4.1 3D 모델링 기법 적용

정유 플랜트 프로젝트의 단위 Unit에 대해서 시공성 검토를 프로젝트 초기 설계 단계에서 적용한 후, 그 결과에 따른 시공 순서를 3D Modeling 기법을 이용하여 Plot Plan에 적용한 사례에서



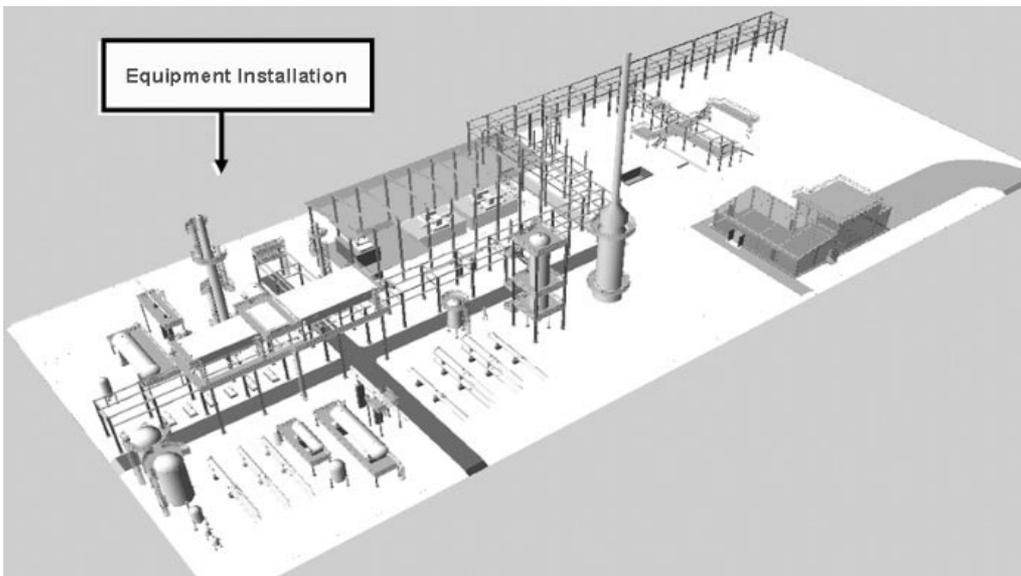
Construction sequence의 예를 그림 1에 나타내었다. 본 시공성 검토 시 중점적으로 고려된 사항들은 다음과 같다.

- 1) Equipment list를 고려한 전체 Lay-out.
- 2) 최종 Turn - over 일정.
- 3) Long-Lead Equipment 입고 일정.
- 4) 자재 현장 입고 일정.
- 5) 전체 물량 분석.
- 6) 시운전/운전 절차 및 일정.

위의 6가지의 고려사항을 설계 시작 시점에서부터 반영하여 자재, 장비 및 작업자 현장 투입일자를 고려한 시공 순서를 결정하여 원가 절감 및 공기를 단축하고 협소한 현장의 공간을 고려한 Heavy Equipment의 Transportation 및 Rigging plan을 수립하여 안전한 시공과 높은 품질을 확보 할 수 있음을 알 수 있다. 또한 지속적인 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입을 통하여 공중 단계별 문제점을 미리 파악하

고 수정 및 개선하여 프로젝트를 관리한다면 프로젝트의 목적인 원가 절감 및 공기 단축에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

정유 플랜트 프로젝트는 신규 프로젝트 건설 사업들이 대다수 이지만, 그 외 증설, 확장 및 기능 개선 프로젝트들이 지속적으로 수행되어지고 있으며, 이러한 프로젝트들은 대부분 공간의 제약을 받으며, 한정된 장소에 해당 정유 프로세스에 필요한 기기, 배관 및 Utility들을 설치, 배열해야하는 특성으로 인한 간섭현상에 따른 문제점들이 항상 발생되어 진다. 설계단계에서 시공성 검토를 통한 3D Modeling 기법을 이용하면 사전 시공성 검토를 통해 한정된 공간을 효율적으로 활용할 수 있으며, 간섭현상에 따른 문제점도 미리 사전 검토가 되어 프로젝트 초기인 설계 단계에서 문제점 파악 및 수정이 가능하게 됨을 알 수 있다. 이와 같이 설계단계에서의 시공성 검토를 통해 공법 개선 및 재시공 최소화를 통한 원가 절감 및 사전 자재 납기 및 불필요한 시간을 줄인 공기 단축 등을 달성 할 수 있다.



[그림 1] Construction Sequence, Equipment Installation



4.2 경제적 기대 효과

체계적인 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법을 설계 초기 단계부터 도입하면, 상당액의 프로젝트 비용 절감 및 공기 단축 등 프로젝트 목표를 달성하는데 매우 많은 효과가 있다. 여기에서는 Construction Industry Institute의 연구 과제의 일환으로 조사, 분석한 시공성 지표 분석에 따라 선정 분류된 Highest Potential 분야인 배관 공사, 기계 설치 공사 및 전기 공사에 대하여 시공성 지표를 평균으로 향상시켰을 경우를 가정하여 경제적인 기대 효과를 분석한 내용을 소개하고자 한다.

표 4는 Highest Potential 분야인 배관 공사, 기계 설치 공사 및 전기 공사에 대한 경제적인 기대 효과를 분석하여 그 절감액을 작성한 표이다. 여기에서 각각의 공종은 건축, 경공업, 중공업 및 발전 사업분야에서 최 난이도 시공성 지표 및 최다 시공비 비율을 나타낸 공종으로서, 만일 이 분야에서의 시공성 검토 도입 및 최적 시공 방법을 도입하여 시공성 지표를 표준으로 향상시켰을 경우를 가정할 때 아래의 표와 같이 약 2% 또는 3%의 프로젝트 비용 절감 기대 효과를 나타내는 것으로 분석되었다.

4.3 프로젝트 비용 절감 사례

시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법의 도입이 프로젝트 비용 절감에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 Construction Industry Institute에서 연구 보고된 CII Report B-1, Integrating

Construction Resources and Technology into Engineering, Construction Industry Cost Effectiveness Project Report의 사례 연구, Food Processing Plant Project (\$12million)에 대하여 고찰해 보기로 한다. 프로젝트 사례 분석에 대한 이해를 돕기 위해 프로젝트 유형, 계약관계, Schedule, 직무 및 책임관계, 프로젝트 비용 절감 효과 순으로 정리하였다.

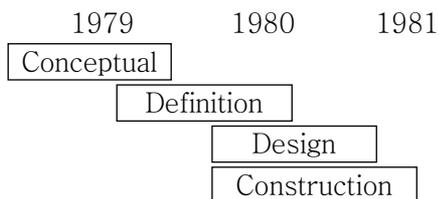
1) Project 유형 : Food Processing Plant (\$12Million)

2) 계약 관계

- 설계 및 구매 : Owner
- 시공 : General Contractor on Cost-Reimbursable 계약
- 하도시공 : 일괄 Lump Sum 계약

3) Constructability 관련 Staff : General Contractor의 현장 공무책임자가 설계 초기 시점에서부터 약 4 개월간 Constructability Coordinator로 선임되었으며, 현장으로부터 약 2개월간 설계 장소로 투입이 되었다.

4) Schedule



5) 직무 및 책임 관계

Constructability Coordinator의 직무 및 책임

<표 4> Highest Potential Area에 대한 Project비용 절감 기대 효과

사업유형	평균투자액	배관공사절감액	기계설치공사절감액	전기공사절감액	총 Project절감액
건축사업	\$25Million	\$0.006Million	\$0.039Million	\$0.046Million	\$0.091Million
경공업사업	\$120Million	\$0.241Million	\$0.174Million	\$0.258Million	\$0.673Million
중공업사업	\$190Million	\$3.802Million	\$1.002Million	\$1.410Million	\$6.214Million
발전사업	\$470Million	\$5.060Million	\$3.046Million	\$2.744Million	\$10.850Million

가정) 1. 노임(Labor Cost)가 전체 Project 비용의 25%라고 산정

2. 시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법 도입으로 시공성 지표를 평균치로 향상시켰을 경우로 가정함.



이 Owner의 Project책임자 및 시공 책임자에 의해서 하기의 관점에서 충분한 협조를 취하였다.

- 설계 초기 시점에서 부터의 비용 절감 및 공기 단축을 위한 모든
- 설계 성과품의 검토
- 시공 하도급 계획 수립을 위한 설계 성과품 및 물량에 대한 협조
- 시공 시점에 부합하는 설계 성과품 Issue 시점 및 자재 Delivery 시점 협조
- 특수한 기술적인 문제 해결을 위한 기술자의 도입

6) Project 비용 절감 효과

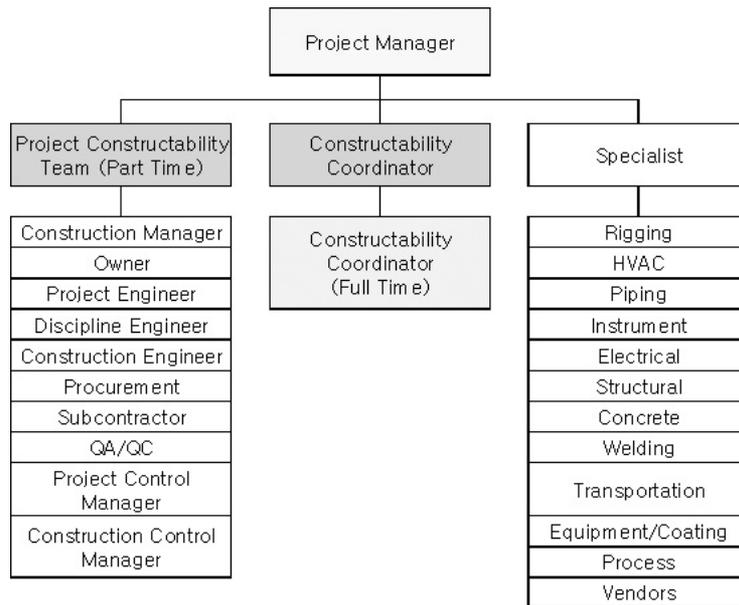
시공성 검토 프로그램을 효과적으로 수행하기 위하여 소요되는 제반 경비는 \$32,100인데 반하여 이에 따른 Project절감 비용은 \$542,482의 효과를 나타내었다. 설계 초기 시점에서부터 시공성 검토 수행을 위한 Constructability Coordinator를 선임하여 설계 장소 및 프로젝트 수행 단계별 해당 장소에 투입시켜 Owner,

Project 책임자, 시공 책임자 및 Specialist들과 충분한 협조를 통해 우선적으로 시공성 검토 방법을 도입하고 수행한 결과 Food Processing Plant Project (\$12million)에서 프로젝트 총 공사 금액의 약 4.5%, 즉 시공성 검토를 위해 추가 투자된 금액의 16.8배의 비용 절감을 했음을 알 수 있다.

5. 시공성 검토 방안

5.1. 시공성 검토 조직

시공성 검토 및 이를 통한 최적 시공 방법 도입의 필요성 및 장점에 대해서는 충분히 인식을 하고 있음에도 불구하고, 제대로 수행되지 않은 상태에서 프로젝트가 종결되는 가장 큰 이유는 프로젝트 수행 시 공정별로 세분화된 프로젝트 수행 조직 간의 Coordination 부재와 설계자 및 시공자 사이의 추구 목적 불일치에 기인함에 따라 프로젝트의 성공적인 수행을 위해서는 이러한 조



[그림 2] 프로젝트 조직 내 시공성 검토 기능 조직도



직 간의 원활한 Communication을 담당하고 시공성 검토를 주관적으로 진행할 Constructability Coordinator가 필수적으로 필요하다.

그림 2는 성공적인 프로젝트 수행을 위해 필요한 프로젝트 조직 내의 시공성 검토 기능 조직을 나타낸 것이다. 시공성 검토 적용 사례와 같이 프로젝트 초기 설계 단계에서부터 시공성 검토 수행을 위한 Constructability Coordinator를 선임하고 프로젝트 조직 내에 그림 2와 같은 인원을 포함하여 Constructability Team 을 구성하여 프로젝트 수행 단계별 해당 장소에 투입시켜 Owner, Project 책임자, 시공 책임자 및 Specialist들과 충분한 협조를 통해 시공성 검토 방안을 수립하고 운영하여야 한다.

5.2. 시공성 검토 절차 수립 방안

프로젝트 목적을 달성하기 위한 효과적인 시공성 검토를 수행하기 위해 아래에 나열한 사항들이 반영된 체계적이고 표준화된 시공성 검토 업무 절차서를 수립하여야 한다.

- 1) 시공성 검토는 제반 공정에 대한 사전 검증 및 계획을 수립하는 방안으로서 적용되어야 하며, 단지 설계가 끝난 상태에서의 단순한 Review가 되어서는 안 된다. 따라서 사전 검증을 함으로써 재설계를 방지하여 보다 나은 질적인 설계 성과품을 내도록 해야 한다.
- 2) 계약 사항 및 제반 Layout의 상황에 따라, Basic 설계 후의 Front End Engineering 시점에서부터 검토되어야 하며 상세 설계, 구매, 시공 및 시운전 공정 전반에 대하여 지속적으로 검토하여야 한다.
- 3) Constructability Coordinator의 주관 하에 Project Team과의 긴밀한 협조를 거쳐야 한다.
- 4) Constructability Team은 제반 공정에 따른 시공성 검토 및 이에 따른 설계 반영 시점을 반영한 상세 Schedule을 수립하여야 한다.
- 5) 특수한 분야에 대해서는 그 분야의 전문가로

하여금 Constructability 사항에 대해 조언을 받는다.

- 6) Constructability Suggestion, Constructability Program Quarterly Report 그리고 Constructability Idea Log 등과 같은 Form을 항상 설계 사무실 및 현장 사무실에 비치하여, Project에 참여한 모든 인원들(하도 인원 포함)이 Constructability Idea에 대해 항상 개념을 갖고, 제안할 수 있도록 한다.
- 7) 의사 결정 소요 시간을 단축하기 위해 모든 분석 및 비교는 Order-of-Magnitude 방법에 의하여 개략적인 공사비 및 Schedule 산정을 한다.
- 8) Constructability Coordinator는 주기적으로 시공성 검토의 진척 상황에 대해 일정한 양식에 의거하여 보고 및 관리한다.
- 9) 최종 설계 성과품을 제출하기 전 Constructability Team은 최종 시공성 검토 회의를 개최하여, 그때까지 진행되어서 내부 승인된 개념들이 반영이 되었는지 확인한다.
- 10) 시공 기간 중에는 하도 계약자들에게도 향후 Project에도 개선되어 적용될 수 있는 시공성 개념을 항상 주지시키고, 지속적인 교육을 통하여 개선 방향을 모색토록 한다.
- 11) Project 종결 시점에 Constructability Team은 향후 이익 극대화를 위해 더욱 개선이 요구되는 부분에 대해 보고하고 결과를 분석토록 한다.

5.3 시공성 검토 방안

시공성 검토 조직이 구성이 되고 표준화된 체계적인 시공성 검토 업무 절차가 수립이 되면 이 절차를 통하여 시공성 검토 방안이 적용되어야 할 사항을 아래와 같이 프로젝트 수행 단계별, 공종별로 정리할 수 있다.

- 1) Project 착수 초기 시점에서부터 하기의 사항들이 고려되어 Project가 진행되어 가면서



시공성 검토 방안에 적용 되어야 한다.

- (1) Constructability Plan은 Project Execution Plan의 중요한 부분으로 인식 되어야 한다.
 - (2) Project의 계획은 시공의 경험 및 지식을 바탕으로 수립되어야 한다.
 - (3) 모든 설계는 최종적인 시공의 편의성을 목적으로 시행되어야 한다.
 - (4) 모든 계약의 방안에는 시공 전문가의 참여가 요구되어야 한다.
 - (5) Site Plot Plan은 시공의 효율성을 극대화 할 수 있게끔 구성되어야 하며 공장 가동 및 유지 보수에 문제가 없도록 수립되어야 한다.
- 2) 설계 및 구매 시점에서는 하기의 사항들이 고려되어야 한다.
- (1) 설계 및 구매 계획은 시공을 위주로 계획 수립되어야 한다.
 - (2) 설계는 효율적인 시공을 우선 고려해야 한다.
 - (3) 설계 성과품은 최대한 표준화 시킨다.
 - (4) 설계 사양서를 작성할 때 항상 시공 효율성을 고려한다.
 - (5) 작업 : 운송 및 설치를 용이하게 하기 위하여 Module / Preassembly 관련 설계를 최우선 고려한다.
 - (6) 시공 인원, 설치기기 및 장비가 현장에서 접근 용이하도록 설계한다.
 - (7) 과규격(Oversize) 및 과부하(Overweight) 설기기기의 설치 및 운반을 고려하여 운송 방안을 수립하고 현장 인도 기기를 설계한다.
 - (8) 운송 및 설치 중의 불필요한 폐기, 손상 및 손실을 최소화하기 위하여 설치 방법 및 설치 장비를 고려하고, 모든 반입 설비 및 장비에 대해 철저히 기록 유지 한다.
 - (9) 모든 물품에는 시공시의 오류 및 시공을 편리하게 하기 위해 물품 인식표를 철저히

관리한다.

- (10) Pre-fabrication 및 Module 작업이 용이한가를 검토한다.
- 3) Project가 진행되어 시공 시점으로 넘어갈 때에 시공팀은 시공 Man-hour 및 Schedule을 효율적으로 사용하기 위해 아래에 나열한 사항들에 대한 적용을 고려해야 한다.
- (1) 시공 절차에 대한 혁신적인 수립
 - (2) Temporary Facility의 혁신적인 운용
 - (3) 수동 공구 및 시공 장비의 혁신적인 운용
 - (4) 시공 편의를 위한 Pre-assembly
- 4) Project를 수행하는 동안 고려되어야 하는 주요 사항들은 다음과 같다.
- (1) Plant Layout 설계
 - ① 하수구 (Sewer) : 지하 배관 및 Duct Bank 등으로 인하여 진입이 어려운 부분을 최소화하기 위하여 시공 Schedule을 반영하게 설계되어야 한다.
 - ② 시공 작업 시 크레인이나 기타 시공 장비가 진입 되는 부분을 항상 고려하고 시공되어지는 기기의 Erection 간주 및 시공기기의 현장 도착 시점 Schedule을 고려한 Layout을 수립한다.
 - ③ Temporary Scaffolding 작업을 최소화하기 위하여, 영구 Structure Layout을 재배치, 조합 또는 확장할 수 있는가에 대해 검토를 한다.
 - ④ Heavy Equipment Rigging Study를 수행한다.
 - ⑤ Plant의 유지 보수 및 운전의 효율성을 고려하여 관련 Area 및 Unit을 최적 설계토록 한다.
 - ⑥ 다수의 Unit를 포함한 Plant 시공 시에는 가능한 많은 Unit이 동시에 Start-up 될 수 있도록 Layout을 설계하고, 타 Unit Start-up 시에도 다른 Unit의 시공에 간섭 요건이 없도록 설계한다.



(2) Equipment의 설계

- ① 시공 팀에서 Rigging Plan을 조기에 확립할 수 있도록 아래에 나열한 사항에 관련된 정보가 초기에 수집되어야 한다.
 - 주요 기기의 List(크기, 설치 중량)
 - Plot Plan(기기의 배치, 진입, 구조물 및 기타 방해 설치물)
 - 기기의 General Arrangement 도면(무계중심의 표시)
- ② Rigging Plan을 수립할 때, 기기의 보온, 구조물의 Platform 및 Ladder, Tray, 계장 기기 등이 기기가 설치되기 전 먼저 조립되어 부착되어서 별도의 Scaffolding 작업이 필요 없도록 가능한 설계한다.
- ③ Horizontal Vessel의 Lifting Lug를 반드시 설치하여 기기 조립 전 보온 작업이 될 수 있도록 한다. 시공팀은 Vendor 도면 최종 승인 전에 Lifting Lug 상세도면을 검토하여, 설계는 피하도록 한다. 설치시의 균일 분포 하중을 고려하여 Vessel Top Head의 3개의 Lifting Lug 사용.
- ④ 설치전의 Site 보관 시에 필요한 방청 절차서를 Vendor Print로써 받을 수 있도록 선 조치한다.
- ⑤ 기기의 정확한 B/M 및 도면이 기기 자체 Delivery 전에 시공 팀에서 검토 될 수 있도록 조치하며, B/M 및 운송 List 에는 Gasket 나 Bolt/Nut 등도 꼭 포함되도록 확인한다.
- ⑥ 특수 Process 기기에 대해서는 On-Site 도착 전에 Field Inspection procedure가 작성되어야 한다.
- ⑦ 기기에 대해서는 Vendor Shop에서 미리 보온 Support Ring이 설치되어지게 하며, Construction Team은 최종 Vendor 도면 승인 전에 보온 Support Ring Detail 도면을 검토한다.

⑧ 특수한 Lifting Beam 이 요구되어지는 기기 (Condenser 나 Turbine 등)에 대해서는 Purchase Spec에 Vendor도 하여금 Lifting Beam을 설계, 공급토록 명시하여야 한다.

⑨ Package Item의 경우 Vendor가 공급하는 Battery Limit에 연결되는 모든 Tie-in Point 관련된 도면을 검토하여, Site에서 혼선이 오지 않도록 한다.

⑩ 구매 Coordinator 및 Vendor간에 Module로 운송하는 방법을 최대한 활용하여, Shipping 및 운송, Site Erection 시에 작업량을 최대한 줄이는 방안을 강구한다.

(3) 배관 설계

- ① Site에서 Welder Test 및 PQR이 작성되어지기 전에 Metal / Alloy 관련 Welding Procedure를 선행하여 작업토록 한다.
- ② Vent, Drain, Pressure Gauge, Orifice Tap, Steam Tracing Manifolds, Steam Trap등에 대해서는 Prefab를 위하여 배관 Subassembly를 표준화 한다.
- ③ 모든 배관 Size에 대한 ISO Metric를 준비한다.
- ④ 모든 ISO Metric 도면에 필요한 B/M을 표시하여 Shop Fabrication 및 Field Erection 시에 참조가 되도록 한다.
- ⑤ 배관 Material 종류를 구분하기 위해 Color Coding을 사용한다.

(4) 시 공

- ① 약천후에서도 작업할 수 있는 풍천 막 작업 장소를 고려한다.
- ② 일반 Erection 작업을 중앙 처리할 수 있는 Crane 또는 Tower Crane의 사용 성을 검토한다.
- ③ 하도급 계약 시 목표 Man-hour를 고려한 Semi-reimbursable 계약을 고려하여 Project Schedule을 단축시키기 위하여,



성과급 (Incentive)을 고려한다.

- ④ 작업 순서를 계획 시 중복을 가급적 피하고 장비를 공동 사용할 수 있게끔 효율적인 작업 순서를 기획하고 항상 진입로를 용이하게 한다.
- ⑤ 체중이 심한 장소에 대한 마감 작업은 손상 및 재시공을 최소화 시키기 위해 최대한 나중에 잡는다.
- ⑥ 작업 Schedule에 적절한 작업 인원수를 계획하고 필요에 따라 Peak시의 작업 인원을 고려하여 작업 순서를 조정한다.
- ⑦ 효율적인 시공 계획을 수립하기 위하여 Tie-in Point 및 시공 필요 Power, Water, 화 장 실, Fire Protection, Construction Air 및 기타 관련 Utility 공급원을 조속히 확정한다.
- ⑧ 선 착공되어야 하는 부분에 대한 시공 계획 수립은 타 시공 작업으로부터 영향을 받지 않게 분리하여 작성한다.
- ⑨ WBS (Work Breakdown Structure)의 구성 시 설계 및 구매의 기간에 제약을 받는 작업을 최소화 시켜서, 상기 제약으로 인해 여타 공정의 시공에 영향을 미치지 않도록 한다.
- ⑩ 선행되어야 하는 작업장이나 Concrete Paving 작업은 가능한 조속히 완결하여 타 공정 시공 작업 시 청결한 작업장소를 부여하도록 하고 Rolling Scaffolding을 사용할 수 있게 조치한다.
- ⑪ Forming 작업을 최소화하고 시공을 원활하게 하기 위하여 Slab 타설 시의 작업 순서를 명확히 표시한 도면을 준비한다.
- ⑫ 규모가 큰 기초 작업에 필요한 Re-bar Cage는 Prefabrication 하여 Preassemble 토록 한다.
- ⑬ Vessel 또는 Tower / Reactor류들은 가능한 Platform 또는 Ladder를 설치하여

Erection 한다.

- ⑭ Stair 나 Platform류들은 차후 Scaffolding의 필요성을 줄이기 위하여 미리 Erection 한다.
- ⑮ 지하 배관, 지하 Cable 및 Conduit류의 시공 작업 시에는 기준 되는 지표수의 위치와 연관하여 가장 적합하고 경제성 있는 시공이 되도록 분석한다.
- ⑯ 건물 설계 및 시공 시 관련 인허가 및 적용 법규를 필히 미리 검토한다.
- ⑰ Heavy Rigging Plan을 진입, 규모 및 하중을 고려하여 재검토 한다.
- ⑱ Refinery 내의 운전 중인 타 Unit이 있을 때, 특수 안전 Permit의 사용을 줄이기 위해 공사 중인 Unit으로 부터의 진입로를 확보하도록 한다.
- ⑲ 현장 용접을 최소화하기 위해 배관 Prefabrication 작업에 대해 검토를 한다.
- ⑳ 공사장 작업 효율을 증진시키기 위해 아래 나열된 것과 같은 요인을 검토하고 개선 방안을 모색한다.
 - Weight of steel(equipment/structure/piping) per square meter of the plant
 - Total standard man-hours per square meter of plant
 - Total volume(M3) of concrete per square meter of plant within battery limits
 - Total weight
- ㉑ 설계부서 및 QA/QC 와의 협조 하에 Site Inspection & Test Plan을 작성한다.
- ㉒ 현장에서 수행되어야 할 상세 설계의 정도를 구분하고, 이와 관련된 모든 타당성 조사를 수행한다.
- ㉓ Excavation 및 Soil Embanking / Cutting 물량을 적정하게 구하기 위해 최종 Plant Layout을 검토한다.



- ㉔ 상시적인 현장 진입, 작업장 진입 및 주차 등을 고려하여 임시 진입로를 고려하여 설계한다.
- ㉕ 기기의 현장 도착 시점과 시공 Schedule 을 항시 검토하여 순조로운 시공 공정이 이루어지도록 한다.
- ㉖ Primer 및 Finish Paint Type을 최대한 표준화하여 작업 능률을 증대 시킨다.

6. 결론

본고에서는 시공성 검토에 대한 이론적인 고찰과 사례조사를 통하여 정유 플랜트 프로젝트를 성공적으로 수행하기 위한 시공성 검토의 적용 방안을 단계별로 고찰해 보았다.

선진 국가의 보고서를 통하여, 4가지 유형의 사업 사례에서 분석된 바와 같이 각 사업 유형에서 시공성 지표 및 시공비의 대부분을 차지하는 배관공사, 기계 설치 공사, 전기 공사, 계장 공사, Vessel, HVAC, Concrete 공사 및 철골공사 분야에서 이를 효과적으로 수행하면 Project의 경쟁력 강화에 커다란 이점이 있음을 알 수 있다. 따라서 정유 플랜트 프로젝트에서 이를 효과적으로 수행하기 위해서는 첫째, 프로젝트 초기 시점부터 설계 세부 사항 및 성과품 제출이 현장 시공의 편이성 및 불필요한 공기 연장을 없애는 차원에서 계획을 수립한다. 둘째, 최적, 최신의 시공 방법이 설계 시점부터 고려한다. 셋째, 공수가 많이 들어가는 노동 집약적인 설계 사항을 최소화 하고, 각각의 Element를 최대한 표준화한다. 넷째, 각 Project특성에 부합하는 설계 및 구매 사항에 대한 계획을 수립하며 이를 효과적으로 수행하기 위하여, 현장 작업을 최소화한 Pre-assembly 작업, Module을 극대화한 작업, 현장 안전 및 효율적인 시공에 근거를 둔 설계 및 이에 따른 구매를 한다. 다섯째, 시공, 운전 및 보수가 용이하도록 Plant

Layout을 작성한다. 여섯째, 현장 설계 변경을 최소화하도록 하여 불필요한 현장 경비 및 공기 지연을 미연에 방지하도록 한다. 일곱째, 시공 계획에 따른 철저한 사전 검토를 수행한다. 여덟째, 설계 시 3-D CAD Modeling을 이용한 간접 검토한다. 아홉째, 설계 목적 및 시공 방법, 시공 물량에 부합되는 하도급 운영 계획을 수립한다.

이론적인 고찰과 사례조사를 통해 분석해 본 결과 정유 플랜트 프로젝트의 성공적인 수행을 위한 시공성 검토 방안은 상기 연구 검토된 사항들이 반영된, 외국 연구기관에서 분석한 결과를 토대로 선정한 기계 설치공사, 배관공사, 전기공사, 계장공사, Vessel, HVAC, Concrete 공사 및 철골 공사등 우선 적용 대상 공사를 중심으로 첫째, 효과적인 시공성 검토 적용을 위한 체계적인 표준 업무 절차서 수립 및 이행. 둘째, 시공성 검토 표준 조직 구성 및 운영. 셋째, 시공성 검토 및 최적 시공 방법 개발, 개선을 위한 적극적인 활동 장려. 넷째, 선행 프로젝트에 적용된 시공성 검토 및 최적 시공 방법에 대한 유효성 확인 및 후행 프로젝트에 대한 Feed-back 시스템 구축 및 운영이라고 정리할 수 있다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 발주자들의 시공성 검토에 대한 이해를 프로젝트 성공에 대한 의미로서 비용 효과성 극대화라는 관점으로 이해하고, 시공성 검토의 많은 이점들에 대해 공통 인식을 같이 함에 따른 적극적인 지원과 그에 대한 사업자의 강력한 수행의지라 할 수 있다. 이것이 받침이 된 후에, 경험있고 능력있는 인력들을 선발하여 프로젝트 초기 설계 단계부터 투입하여 조직을 구성하고 표준화된 업무 절차에 따라 체크리스트를 적극 활용하여 시공성 향상을 위해 지속적으로 창조적인 생각과 아이디어 창출을 장려한다면 모든 정유 플랜트 프로젝트들을 성공적으로 수행할 수 있도록 이끌 수 있을 것이다. (KIPEC)