



화공플랜트 증설 사업에서 재시공 예방 방안에 관한 연구



노재호

jaepang1975@yahoo.co.kr

한림대학교 물리학 학사
한양대학교 플랜트엔지니어링 석사
SK건설(주) 대리

1. 서론

국내 석유 화학 분야의 공장들은 그동안 지속적인 신설 등으로 인하여 국내 수요에 충족 또는 다소 모자라는 생산량까지 접근하여 세계로의 수출에 눈을 돌리고 있는 상황이다. 따라서 대규모 플랜트를 신설하기 보다는 현재 가동중인 공장을 정기적인 조업정지 기간 동안에 증설, 현대화 또는 병목해소를 통해 설비효율성을 제고하여 생산능력의 확대를 추진하고 있다. 또한 자체적으로 생산조업 개선 및 최적화 등을 통해 기존 공장을 개선시키는 추세이다.

증설공사는 짧은 공사 기간에 복합공정을 가동 중인 기존 공정지역에서 동시에 수행해야 한다. 그리고 패스트 트랙의 공기운영으로, 시설물 및 공중간의 간섭에 대하여 충분한 사전 시공성 검토 및 실측에 의한 설계의 반영이 현실적으로 매우 어렵다. 이와 같은 이유로 재시공이 많이 발생할 수 있으며, 이는 공기지연 및 원가상승을 유발한다. 따라서 재시공에 따른 원가상승 요인을 제거할 수 있는 체계적인 방안이 요구되며, 시공 전 검토활동의 구체화가 필요하다.

본 고에서는 현장에서 집계된 실제 사례를 통하여 재시공의 원인과 비용을 분석하였다. 다음으로 분석된 원인을 사전에 예방하기 위한 재시공 예방 방안으로써 공중별로 점검 리스트를 제시하였

다. 끝으로 재시공 예방 방안을 실제 수행 프로젝트에 적용하여 시공 전의 검토활동으로 공기지연 및 원가상승 요인을 제거하기 위한 개선점을 찾고, 개선된 사례를 통해 투입비 절감효과를 분석하였다.

2. 화공플랜트 증설사업에서의 재시공

S정유사 콤플렉스 정유단지 내에서 S건설 콤플렉스 팀이 2007년부터 1년간 수행한 화공플랜트 증설사업의 현장에서 집계된 재시공 발생 사례와 원인 및 비용을 분석하였다.

2.1 재시공 발생사례

전체 재시공 발생 건수는 147건으로, 이 가운데 배관에서 발생한 재시공은 104건으로, 전체의 70.75%로서 타 공종보다 발생률이 높다. 전기 및 계장은 18건으로 12.24%, 철골은 13건으로 8.85%, 기계는 8건으로 5.44%, 토목은 3건으로 2.04% 및 건축은 1건으로 0.68%이다.

2.2 재시공 원인분석

증설사업 현장에서 재시공 발생의 주요 원인은 설계도서의 누락 및 오류이다. 전체 재시공 발생 건수 147건 가운데 설계도서 누락과 오류에 의한 발생건수는 100건으로 68%이다. 발주처 요구에



의한 수정 또는 변경으로 인한 재시공은 19건으로 12.9%이다. 자재 관련하여 발주처 공급 자재의 지연 및 제작사 자재 불량에 의한 재시공은 6건으로 4.8%이다. 시공 관련하여 시공시 설계 적용 오류는 5건으로 3.4%이고 그 외 작업자 자체 문제, 관리자 관리 미흡, 선행공정 시설물 보호 불량, 계약서 요구 누락 및 오류, 법규 및 코드 시공시 적용 오류, 시방서 요구 누락 및 오류, 절차서 요구 누락 및 오류, 기타 시공 등이 11%이다.

배관공종의 재시공 발생률이 70.75%로써 타 공종에 비해 많이 발생하는 이유는 다음과 같다. 통상적으로 배관 설계단계에서는 승인용 제출(IFC, issue for approval) 도면 작성 시 타 설계부서(토목, 철골, 기계, 전기, 계장, 건축 및 설비 등)에서 접수되는 설계정보가 배관팀으로 집중되고, 또한 타 설계부서에는 배관팀의 설계정보가 전달되어야 한다. 이와 같이 배관팀은 타 부서와 주고 받은 설계정보를 도면에 반영하고 기기 및 자재 제작사의 설계정보 또한 함께 반영하여 이에 따른 물량집계(MTO, material take off) 후 최종적으로 공사용승인(AFC, approval for construction) 도면 출도 후 배관설계를 종료하게 된다. 그러나, 증설사업의 경우, 패스트 트랙에 의한 공기 운영으로 적시에 배관팀과 타 공종간의 필요한 설계정보를 공유 및 검토할 시간이 충분하지 않다. 또한 필요한 설계정보가 부족한 상황에서도 일정준수를 위해 우선 도면을 출도하고 추후에 다시 도면을 수정하는 경우가 발생한다. 이와 같은 이유로 배관에서 타 공종에 비하여 재시공이 많이 발생하게 된다.

시스템 산업인 화공플랜트 특성상 위와 같은 문제점은 배관뿐만 전체 공종에서 발생된다. 따라서 설계도서의 누락과 오류를 최소화하기 위해서는 사전에 현장실사를 통해 실측에 의한 설계 및 전 공종간에 타 부서와 필요한 설계관련 정보가 적시에 전달 및 공유 되어야 하며, 기기와 자재 제작사의 정보와 함께 도면에 반영되어야 한다.

2.3 재시공 비용분석

S건설 콤플렉스팀이 수행했던 증설사업 현장에서 집계된 재시공 비용 분석 결과, 재시공 비용은 전체 투입공사원가의 1.51%이며 발생건수는 147건으로 집계되었다. 화공플랜트 부문과 전사의 투입공사원가 대비 재시공 비용의 비율 및 발생건수가 각각 1.43%와 9.2건 및 1.07%와 10건인 것과 비교하면 발생건수가 부문 및 전사에 비해서 상당히 높다. 이는 콤플렉스 현장이 증설사업 현장이고 한 현장에서 동시에 여러 프로젝트를 수행하는 특성 때문에 화공플랜트 부문 및 전사에 비하여 재시공이 많이 발생한 것이다. 전체 재시공비용 약 8억원 중 설계도서 누락 및 오류에 의한 재시공은 약 4억4천만원으로 약 55%를 차지한다.

EPC 단계별 재시공 비용을 살펴보면, 설계의 재시공 비용은 전체비용 약 8억원 중 약 4억5천7백만원으로 전체비용의 약 57%에 해당되므로 비중이 높다. 이는 재시공 발생의 주요 원인이 설계도서의 누락 및 오류이기 때문이다. 조달의 재시공 비용은 7천9백만원으로 전체비용 가운데 약 10%의 비중을 차지한다. 조달단계에서 재시공이 발생하는 주요 원인은 자재입고 지연 및 자재 자체의 기능, 성능, 규격 및 외관 등의 자재 불량 때문이다. 시공의 재시공 비용은 약 1억3천만원으로 전체 비용 중 약 16%의 비중을 차지한다. 공사단계에서 재시공이 발생하는 주요 원인은 설계도서와 시방서 및 절차서의 시공시 적용 오류, 관리자의 부적절한 시공관리 및 작업방법, 작업자의 기량 및 직업정신의 부족 등 때문이다. EPC단계 이외에 발주처의 요청에 의한 재시공 비용은 약 1억3천만원으로 전체 비용의 약 16%를 차지한다. 발주처 요청에 의한 재시공 발생 원인으로는 운전자 편의 위주에 의한 기존 설계의 위치 및 수정 작업, 추가공사 때문이다.

공종별 재시공 비용을 살펴보면, 전체 재시공비용 약 8억원 중 배관의 재시공 비용은 약 5억원으



로 전체비용의 약 62%에 해당되므로 타 공종보다 발생률이 높다. 증설사업 특성상 패스트트랙에 의한 공기운영으로 배관에서 적시에 필요한 타 부서 및 자재 제작시간에 필요한 설계정보의 공유 및 공유된 설계정보를 반영하고 검토할 시간적 여유가 불충분하여 설계도서의 누락과 오류가 많이 발생하기 때문이다.

3. 공종별 재시공 예방 방안

프로젝트 준비 단계에서는 우선 계약서 및 현장 설명서의 프로젝트 개요와 특기사항에 대하여 확인해야 한다. 특기사항은 품질, 안전, 자재 등의 관련팀 요구조건이 반영되었는지 점검해야 한다. 점검 결과가 원가 상승을 초래할 수 있는 사항은 반드시 프로젝트팀 및 현장 공무와 협의하여 현장 설명 시 반영해야 한다. 현장설명서는 공사시공사명, 하도급 공사명, 공사기간, 공사범위, 지급 자재, 견적조건, 사양, 첨부사항 등을 기재하여 공사 현장에 대해 협력사에 설명하는 서식으로써 계약서와 함께 현장에서 기본이 되는 문서다. 다음으로 공종간 설계도서 및 현장설명서의 업무범위 및 책임사항에 대하여 작업의 누락 및 범위가 명확한지를 확인 한다. 검토 후 문제의 소지가 있을 경우 공무팀 및 관련팀과 협의하여 조율해야 한다. 또한 시방서, 작업 절차서, 검사 및 시험계획서(ITP ; inspection test plan)를 작성하여 품질팀 및 발주처에 승인을 받아야 한다. 시방서 및 절차서의 적용 오류는 재시공에 의한 공사 지연 및 원가상승을 초래하여 발주처의 신뢰를 떨어뜨리기 때문이다. 마지막으로 작업 투입 전에 협력사 교육을 실시하여 사전에 작업을 숙지하도록 해야 한다.

공사착수 전 단계에서는 협력사와 킥오프회의(kick-off meeting)를 통해 협력사의 수행계획서 작성에 대한 시공계획 및 중점 사항들을 확인하고 중요 공사의 이해와 문제점을 검토하여 해

결방안을 보완해야 한다. 또한 각 공종별로 중요한 공정에 대하여 시공, 품질, 안전의 리스크 요소를 사전에 색출하고 수행계획서를 수립해야 한다. 공종별 수행계획서를 통해 사전에 시공성 검토를 실시하고 문제점에 대한 해결책을 모색하여 재시공을 예방할 수 있도록 전 공종이 함께 협의해야 한다. 끝으로 공기 준수를 위한 목표 공정계획을 수립하여 실제 달성이 가능한 기본 및 전체일정표를 작성하고 관련 공종팀과 작업순서 및 장비 투입일정 등을 협의해야 한다.

3.1 토목공종

설계검토 단계의 점검사항은 다음과 같다. 먼저 중요 구조물 및 철골 도면의 경우, 위치 및 높이의 치수가 기계·배관의 관련 도면과 일치하는지 확인해야 한다. 제작사 도면의 경우, 기계 및 배관의 관련 도면과 고정 볼트의 종류, 위치 및 규격 등의 일치 여부를 확인해야 한다. 확인 결과 설계요건이 상이할 경우 프로젝트 및 설계팀 담당자에게 문제점을 설명하고 프로젝트 및 설계팀과 협의하여 도면에 반영되도록 해야 한다. 끝으로 공사 착수 전에 토목 설계팀 및 공무팀 협의 후 지반의 성질과 지장물이 의심될 경우, 지반조사 및 시험굴착을 하여 기초 파일, 지하 배관 및 케이블 등의 지하 여건을 확인해야 한다. 문제점 확인 시 미연에 타당성을 검토하고 설계를 변경하여 원가에 반영시켜야 하기 때문이다.

공사단계에서 점검해야 할 사항은 다음과 같다. 먼저 현장 실사 시, 측량기준점 및 보조점을 설치하여 도면상의 측량점의 위치를 정확히 파악하고 기계·배관팀과 위치 및 높이 등의 좌표를 연대 확인해야 한다. 또한 현장 실사 후 기존 구조물 및 시설물에 대한 간섭사항과 장비 작업지역 등을 확인해야 한다. 기존 시설물 간섭, 장비 진입 및 작업 공간 등의 시공성 문제 시 배관, 토목 설계팀과 협의하여 설계도면에 반영하여 추가 공사 및 원가상승을 예방해야 한다. 끝으로 지하작업 시



drawing : 등각투상도법으로 그린 배관도)과 타 공종 도면상에서 해당 항목의 위치 및 높이는 일치하는지 검토해야 한다. 또한 배관 스푼(spool) 제작 전에는 기존 시설물과의 간섭 및 루트를 확인하고 배관 설치를 위한 통로, 장비 및 현장 시공성을 검토해야 한다. 용접 관련하여 재질별로 용접 절차서를 검토하고 용접사의 자격 검증 및 비파괴 시험 적용 여부에 대하여 확인해야 한다. 다음으로 금속 전선관과 배관 루트의 중복 및 간섭, 접지 케이블 선의 위치가 현장 여건과 일치하는지 여부를 전기 및 계장팀과 연대하여 확인해야 한다. 마지막으로 철골 관련하여 파이프 랙의 높이와 배관 도면이 일치하는지 확인하고 기존 철골시설은 현장에서 직접 확인해야 한다. 철골 내화(fireproofing) 적용 구간이 현장 여건과 일치하는지 확인하고 문제 시 발주처 및 철골팀과 협의해야 한다.

3.4 철골공종

설계검토 및 현장실사 시 점검해야 할 사항은 다음과 같다. 배치도의 기기 위치를 확인할 경우 도면상의 위치와 현장 설치 장소의 일치여부, 기존 시설 중 철거 대상 선정 및 기기 설치에 대한 시공성을 검토해야 한다. 검토결과 간섭 또는 장비의 효율성이 문제가 되면, 설계팀 및 발주처와 협의하여 기존 시설물의 철거 범위를 확정 후 장비를 선정해야 하고 철거물량은 설계에 반영되어야 한다. 철골 위에 설치되는 기기의 경우에는 철골 도면상의 고정 볼트 홀 위치와 간격, 높이 등을 확인 후 기존 시설물과 간섭을 검토하여 작업 순서를 정해야 한다. 또한 토목 기초도면 검토 시에는 기초위치, 높이와 고정 볼트 및 나사의 규격, 수량, 고정방법, 형판 등의 반영여부를 확인해야 한다.

공사단계에서는 철골 운반경로와 철골 설치 전 인양 및 장비 계획 수립에 따른 문제점을 확인하고 문제 발생 시에는 관련 타 공종과 협의해야 한

다. 또한 설치에 장애가 되는 시설물은 없는지 확인하고 조명등, 증기 배관(steam line) 등 기존 시설물 간섭으로 철거 후 재작업 및 이설 등의 작업변경 여부와 이에 따른 설계변경을 검토해야 한다.

3.5 전기공종

현장실사시 점검해야 할 사항은 다음과 같다. 기존 라인 연결지점은 현장 여건에 따라 발주처의 요구 조건이 변경될 수 있기 때문에 작업 전에 발주처의 담당자와 반드시 연결지점을 최종 확인해야 한다. 변경이 있을 경우에는 설계에 반영하고 물량을 증감해야 한다. 다음으로 기기 위치와 전기 도면과의 일치 여부를 확인하고 보수 공간 및 기존 시설물과의 간섭이 발생하는 지 현장을 점검하여 문제 발생 시 발주처 및 설계팀과 협의하여 도면에 반영해야 한다. 또한 조명 계획(lighting plan)을 검토하고 등기구 종류의 적합성 및 비상 및 일반 라인의 분리 등을 발주처 감독과 확인해야 한다. 조명 기구의 철거 및 이설시 문제점은 없는지 현장을 점검하고 물량의 누락은 없는지 확인해야 한다. 제작사 도면 검토 시에는 전기장치 배선 단자대 (terminal block) 종류, 규격 및 모터 리드 박스 등을 확인하고 전기 설비의 명판표기, 규격 확인 및 인허가 사항에 문제점은 없는지 점검해야 한다. 케이블 트레이 관련하여 루트 및 높이를 점검하고 기존 시설물과의 간섭여부를 확인하여 부적합할 경우, 설계변경을 발주처 및 설계팀과 협의해야 한다. 전원 계획(power plan)과 관련하여 기존 케이블의 재사용 여부, 계장 트레이 및 기존 설비와의 이격거리를 확인하고 현장 설치에 문제가 없는지 점검하여 부적합할 경우 발주처 및 설계팀과 설계변경을 검토한다. 모터 관련하여 케이블 연결, 단말처리 및 절연 저항, 리드박스 밀폐상태, 접지연결 상태를 확인해야 한다.

공사단계에서는 패널(panel)과 관련하여 고정



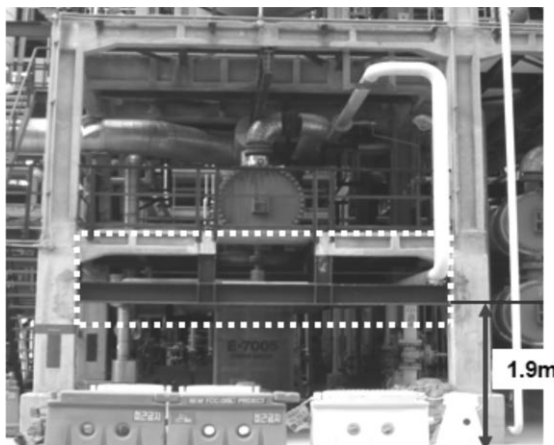
간접지점이 많은 배관과 계장시설물을 재사용함으로써 타 공종 역시 부수적으로 투입비가 절감되는 효과가 나타났다.

정량적 성과는 토목 공종만 해당되며 다음과 같다. 기존 펌프 기초 구조물을 신설할 경우의 투입비용은 재료비 133만원, 인건비 769만원, 장비비 116만원 그리고 경비 663만원으로 총 투입비용은 1,681만원 이다. 기존의 펌프 기초 구조물을 재사용 할 경우 투입비용은 경비만 소요되며 비용은 80만원 이다. 개선 전 총 투입비 1,681만원에서 개선 후 80만원으로 절감하여, 기존 펌프 기초 구조물 재사용으로 1,601만원의 기회비용이 창출되었다.

2) 토목 시공방법 개선사례

현장에 위치한 열교환기의 용량이 증대됨에 따라 기존 기초를 보강하고 축반이대(pedestal)만 철거 후, 신규 축반이대로 설치하는 작업의 시공성을 검토하였다. **그림 1**은 기존 축반이대가 설치되어있는 현장 사진이다. 사진에서 보는 바와 같이 구조물 전면부에 수평 철제 빔(지면에서 이격거리 1.9 m)의 영향으로 인해 장비 진입에 문제점이 있는 것으로 파악 되었다. 이로 인해 인력으로 콘크리트 파쇄 및 터파기를 할 경우는 당초 계획된 공기가 7일에서 11일로 4일의 지연이 예상되어 공기 준수에 어려움이 예상 되었다. 따라서 기계 및 배관 담당자와 협의한 결과, 빔을 제거하여 토목 공종 완료 후에 빔을 재설치 하는 것으로 시공방법의 개선 방안을 검토하였다. 토목 설계팀 검토 결과 구조적인 문제는 없으므로 구조물의 수평 철제 빔을 분리하고 장비를 투입하여 콘크리트 파쇄 및 터파기를 하였다. 또한 기초 보강 및 신규 축반이대 공사 후 수평 철제 빔이 구조물에 연결 되는 부분은 재설치 시 용접으로 고정하지 않고 볼트로 고정하여 추후 유지 보수가 용이하도록 하였다.

개선 사례에 의한 정량적 성과는 다음과 같다.



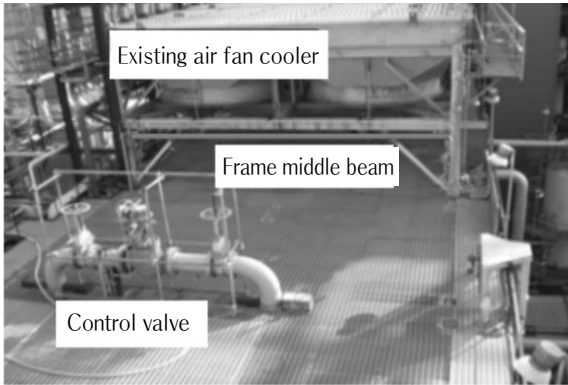
[그림 1] Horizontal steel beam of the heat exchanger

개선 전 투입비용은 인건비 384만원, 장비비 210만원 그리고 경비 59만원으로 총 투입비용은 653만원 이다. 개선 후 투입비용은 인건비 16만원, 장비비 235만원 그리고 경비 25만원으로 총 투입비용은 276만원 이다. 개선 전 인력에 의한 터파기를 했을 경우 8명의 인력에 6일이 소요되거나 개선 후 1명의 인력으로 2일이 소요되어 인건비의 95.8%를 절감하였다. 또한 개선 전에는 장비의 효율성 저하로 장비 사용 일수가 3일이나 개선 후 2일로 단축되었다. 다만 철골의 탈착 및 부착에 의한 비용이 증가되어 장비비는 210만원에서 235만원으로 약 12%가 증가되었다. 개선 전 총 투입비용은 653만원에서 개선 후 276만원으로 약 58%가 절감되어 기회비용이 창출되었다.

4.2 기계공종 개선사례

1) 히터개량의 공기영향 개선사례

증설공사는 신설공사와 달리 기존설비와의 연결 지점이 발생하고 그에 따른 검사 및 시험 범위가 다양한 형태로 나타날 수 있다. 또한 공정의 조업 중지 기간 동안 주어진 공사기간을 반드시 준수해야 하는 현장의 여건 때문에, 공기영향 요소를 사전에 검토하고 후속공정의 영향을 최소화해야



[그림 2] Existing control valve & air fan cooler



[그림 3] Frame post reinforcement

시공성 검토 결과, 신규 공기팬 냉각기가 설치될 위치에 있는 기존 조절밸브의 상부 발동기(actuator) 및 블록밸브 핸들이 사이즈가 증대된 신규 공기 팬 냉각기 하부 프레임의 중간 빔과 간섭이 발생되어 작업이 불가능하게 되었다. 그림 2는 기존 조절밸브 및 기존 공기 팬 냉각기가 설치된 모습이다. 신규 공기 팬 냉각기의 사이즈가 증대되면 사진에서 보는 바와 같이 하부 프레임의 중간 빔이 조절밸브의 상부 발동기와 블록밸브 핸들이 간섭이 됨을 알 수 있다. 따라서 사전 조업 중지 기간에 간섭이 발생하는 신규 공기 팬 냉각기의 하부 프레임 중간 빔을 제거한 상태로 설치 후, 조업중지 기간에 조절밸브 및 배관을 이설하기로 하였다. 공기 팬 냉각기 설치 시, 상부 변들의 하중을 하부 프레임이 지지하고 있는 구조 때문에 중간 빔을 제거하면 하부 프레임의 처짐이 발생할 수 있다고 판단하였다. 보완 방법으로 하부 프레임의 중앙부에 임시 기둥을 설치하여 처짐을 방지코자 하였다. 그림 3은 하부 프레임의 중앙부를 기둥으로 보강한 모습이다. 제작사 기술팀과 대책방안을 검토한 결과 문제가 없다고 확인하여 발주처와 협의 후 공사를 하였다.

정성적 성과는 다음과 같다. 첫째, 시공성 검토를 통해 작업 방법을 개선하여 사전 조업중지 기간에 작업을 미리 함으로써 조업중지 기간 중에

장비의 효율적 운용이 가능하였다. 둘째, 최적의 품질 확보를 위해 제작사와 공조하여 발주처의 신뢰를 확보하였다.

정량적 성과는 다음과 같다. 공기팬 냉각기 설치 방법 변경 전의 투입비용은 인건비 420만원, 장비비 2,000만원 그리고 경비 230만원으로 총 투입비는 2,650만원이다. 공기팬 냉각기 설치방법 변경 후의 투입비용은 인건비 210만원, 장비비 600만원 그리고 경비 90만원으로 총 투입비는 900만원이다. 조업중지 기간에 작업 시에는 발주처와 중복 지역에서 작업하여 장비의 효율적 운용이 불가해 500톤 크레인 사용일수가 증가하게 된다. 그러나 시공성 검토를 통해 사전 조업중지 기간에 미리 작업이 가능토록 설치방법을 개선한 결과, 장비 및 장비 사용일 수를 500톤 크레인 2일에서 300톤 크레인 1일로 장비 임대비를 70% 절감하였다. 또한 중장비 투입일정 단축으로 인해 작업인원이 절반으로 줄어들어 인건비를 50%를 절감할 수 있었다. 총 투입비는 개선 전 2,650만원에서 개선 후 900만원으로 약 66%의 절감효과로 기회비용을 창출 하였다.

현장 작업여건을 사전에 충분히 파악하여, 타 공종과의 간섭 등으로 인하여 작업이 효율적이지 못할 경우는 작업 순서나 방법을 개선하여야 한다. 특히 중장비를 이용한 중량물 작업은 장비의



한 후에 재설치하는 것은 후속공정의 영향과 공기의 지연을 초래함으로써 다른 방안이 요구되었다.

시공성 검토를 통해 파악된 문제점을 재검토한 결과, 해당 배관의 누설시험 방법을 기밀시험(pneumatic test)으로 변경하였다. 이에 따른 문제점은 없는지 발주처 기술팀 및 설계팀에 검토를 의뢰한 결과, 기밀시험으로 수행해도 문제가 없다고 확인해 주었다. 기밀시험은 수압시험이 불가능할 때 수행된다. 수압시험의 경우 도면에는 시험압력이 0.5 MPa로 표기되어 있으나 운전압력은 0.04 MPa로 낮아 별도로 액화가스를 사용하지 않고 공기압축기(air compressor)를 이용하여 기밀시험을 수행하였다. 배관 설계압력은 0.35 MPa이나, 발주처와 협의하여 운전압력을 고려하여 0.14 MPa로 설계변경을 하였다. 통상적으로 기밀시험의 경우 설계압력의 1.1배로 테스트를 하나 실제 시험압력은 0.18 MPa로 테스트를 하였으며, 온도의 영향을 고려해 압력에 의한 위험성을 방지코자 일몰 후에 진행하였다.

개선 사례에 의한 정성적 성과는 다음과 같다. 우선 시공성 검토결과 수압시험에 따른 안전성, 품질, 공기 및 후속공정의 영향 등을 고려하여 누설시험으로 시험방법의 변경이 가능하였다. 다음으로 대구경 배관의 수압시험과 지지물 응력하중의 상관관계를 확인하였다. 배관 지지물의 하중이 수압에 의한 응력하중 때문에 수압시험 시와 상업운전 시의 하중이 상이함을 확인하였다. 대구경 배관의 경우 현장 여건을 감안하여 수압시험 전에 지지물의 하중을 고려해야 하고, 필요시 임시 지지물을 설계팀 검토 후에 보강하여 누설시험을 해야 한다.

정량적 성과는 다음과 같다. 수압시험을 할 경우에 투입비용은 재료비 290만원, 인건비 900만원, 장비비 280만원 그리고 경비 86만원으로 총 투입비는 1,556만원이다. 기밀시험을 할 경우 투입비용은 재료비 210만원, 인건비 510만원, 장비비 310만원 그리고 경비 48만원으로 총 투입비는

1,079만원이다. 누설시험 방법을 수압에서 기밀로 변경한 결과 총 투입비가 1,556만원에서 1,079만원으로 약 31% 절감된 기회비용이 창출 되었다. 이는 기밀시험을 할 경우는 수압시험에 비해 하중이 적으므로 임시 지지물의 추가 설치 및 설치후 철거를 하지 않아도 되기 때문에 재료비와 인건비를 28% 및 43% 절감할 수 있었다. 다만, 장비비의 경우는 기밀시험 때문에 공기압축기 사용으로 인해 비용이 10% 증가하였다. 또한 누설시험 방법을 기밀시험으로 변경하여 후속 공정의 보온 및 도장작업 일정이 앞당겨져 공기를 2일을 단축하였고, 발주처에서는 시운전작업 시 대구경 배관을 건조시키지 않아도 되어 제품 생산을 2일을 단축할 수 있었다. 향후 유사사업의 플랜트 공사 시 누설시험 방법의 개선 여지가 발생할 수 있을 것이다. 사전 시공성 검토로 설계팀 및 발주처와 협의하여 누설시험의 방법을 현장 여건에 맞게 선정한다면 공기단축, 후속공정의 조기 착수, 투입비의 절감 등의 시너지효과가 있을 것으로 기대한다.

5. 결론

본 고에서는 재시공 원인을 파악하고자 현장에서 집계된 재시공 비용을 분석한 후, 파악된 원인을 사전에 예방하기 위한 재시공 예방 방안으로써 공중별로 점검 리스트를 제시하였다. 또한 재시공 예방 방안을 실제 수행 프로젝트에 적용한 시공 전의 검토활동을 통해서 공기지연 및 원가 상승 요인을 제거하기 위한 개선점을 찾고, 개선된 사례를 통하여 창출된 기회비용으로써의 투입비 절감효과를 기술하였다.

재시공을 예방하기 위해서는 타 부서와 상호 연계되는 설계의 경우는 배관부서 뿐만 아니라 전 공중별로 타 부서와 설계 관련정보가 누락 없이 전달 및 공유될 수 있도록 연대확인을 의무화하고, 기기 및 자재 제작사의 정보와 함께 도면에 정확히 반영되도록 해야 한다. 공중별로 중점관리

