



정용구 / 대림산업(주)
ygjeong@dic.co.kr

화공플랜트 시공경쟁력 강화를 위한 공장가공배관 도입에 관한 연구

한양대학교 플랜트엔지니어링 석사
(현) 대림산업(주) 부장

1. 서 론

최근 유가상승 및 중동지역의 차세대 프로젝트 계획에 따라 석유화학 및 정유 플랜트 발주가 급증하고 있으며, 기타 아시아 및 아프리카 지역의 석유화학 및 발전 플랜트의 일괄수행방식(EPC Turn-key Project) 발주도 계속 증가하고 있는 추세이다. 이러한 시장환경 변화에 따라 국내 건설업체들은 그 어느 때보다 많은 프로젝트를 수주 하였고, 이러한 추세는 전문가들의 의견에 따라 다소 차이는 있지만 상당한 기간 동안 지속 될 것이라는 것에는 이견이 없는 것 같다.

하지만 많은 물량을 수주한 국내외 건설업체들은 막상 프로젝트 수행에 있어 많은 문제점들에 노출되어 있는 것도 사실이다. 무엇보다 심각한 것은 전문설계 인력의 부족이며 유가 및 원자재비 상승에 따른 자재비 급등을 포함한 오랜 시간이 걸리는 자재들에 대한 적기 기기발주, 기타 해외 공사인력 부족 등 많은 난제들을 안고 있는 상황이다. 특히 중동지역의 경우 해외인력 제한 정책 등으로 인력수급에 많은 어려움을 겪고 있으며 전문시공 인력 또한 상당히 부족한 상황이다. 아울러 국내 현장의 경우도 지역노조를 포함한 현장 내 작업공간의 제약, 환경 문제, 짧은 공기 등 프로젝트 수행에 있어 많은 변수들이 산재되어 있다.

이러한 국내외 프로젝트 수행에 있어서 공통된 특징으로 바로 짧은 공기, 인력수급, 자재수급 및

품질향상 등이 문제점으로 대두되고 있으며, 그 중에서도 현장공정에 가장 많은 영향을 미치는 배관 스푼(spool) 제작이 프로젝트 성공여부에 열쇠를 쥐고 있다고 해도 과언이 아닐 것이다. 따라서 최근 이러한 문제를 해결하기 위하여 현재 까지 발전 배관 및 일부 조선 배관에서만 제한적으로 적용하던 공장 가공배관을 석유화학 및 정유 플랜트에도 적용하기 시작했고, 이러한 변화는 향후 계속 증가 할 수밖에 없을 것으로 예측된다.

현재까지 석유화학 및 정유플랜트에서의 배관공사는 배관 벌크(bulk) 자재, 예를 들면 pipe, fitting, flange, gasket & bolt/nut를 구매하여 현장에 공급하고, 현장에서는 현장 설치전에 현장 근처 또는 현장 내에서 배관 spool을 제작하는 것이 일반적이었기 때문에 최근에 발주되는 공장 가공배관에 대하여 그 개념과 방법, 절차 및 운영에 관하여 전문적인 도움을 많이 필요로 한다.

따라서 본 논문은 전문 공장가공배관의 업무에 대한 이론 정립 및 실제 제작에 대한 각종 절차서 등 현업에 필요한 내용들을 살펴봄으로써 업무에 도움이 되고자 하였다. 1차적으로 사내에 산재되어 있는 자료들과 과거 수행한 복합화력 발전소 프로젝트 등을 바탕으로 shop spool 제작에 대한 이론 정립하였고 2차적으로는 국내 전문 가공업체의 방문 및 수행실적을 바탕으로 실제 제작에 대한 절차들을 실질적으로 확인하는 방법을 병용하였다.



는 것이다.

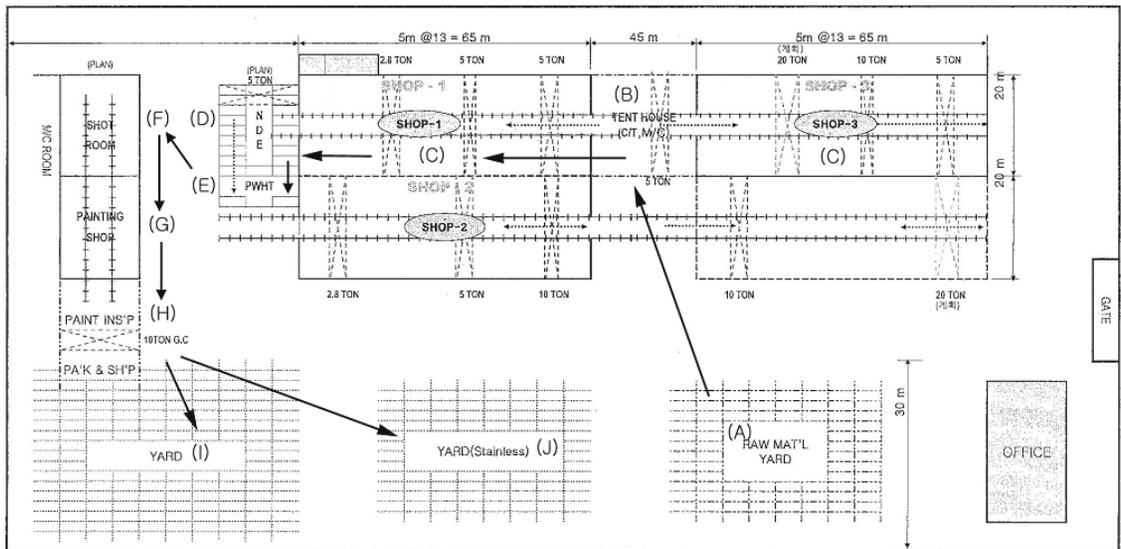
- ③ 국내의 경우 플랜트 지역노조 문제로 예상 공기를 만족시키기 어렵고 전체 프로젝트 및 품질에 지대한 영향을 받기 때문에 가능한 많은 물량의 배관 공사를 외주처리(outsourcing) 하는 차원에서 관심을 갖는다.
- ④ 해외, 특히 중동의 경우 현지인력 수급에 많은 제약이 있고, 생산성 대비 현지 인건비가 경쟁력이 없어 현장 업무를 최소화 하는 기조에서 공장가공배관에 눈을 돌리고 있는 것이다.

2.2 일반적인 공장배치

공장배치에 따라 생산성 및 관리에 많은 영향을 끼친다는 것은 말할 필요가 없을 것이다. 특히 공장가공배관을 위한 공장배치(plant layout)는 제작 흐름상(work flow)상 생산성 및 품질 관리에 절대적인 영향을 미치기 때문에 경쟁력 있는 배치를 고려해야 한다.

표준 공장가공배관 배치(factory layout)를 그림 1에 나타내었다. 각각의 공장부지에 따라 다소

차이는 있을 수 있으나 그 구성은 큰 차이가 없다. 그림에서 공장배치를 제작 흐름(work flow)에 따라 위치 (A)는 맨 처음 입고된 배관 원자재(pipe, fitting, flange 등)을 보관하는 yard로서 특별한 설비나 shop은 필요하지 않지만 보관을 효율적으로 하기 위하여 배관 작업대(pipe die), fitting 및 flange를 size별, 재질별, 종류별로 보관하기 위한 선반 등은 구비하여야 한다. 위치 (B)는 tent house로써 (A)로부터 운반된 pipe를 배관 제작도에서 정의된 길이만큼 절단하고 용접부위 가공(end preparation, beveling)하는 장소로서 pipe 등을 다루기 위한 5 ton 정도의 gantry crane을 설치하는 것이 좋다. 또한 바닥에 설치된 rail을 따라 작업 선반대가 이동할 수 있게 함으로써 많은 생산성을 기대 할 수 있게 된다. 위치 (C)는 shop-1,2,3로서 제작하고자 하는 shop spool의 취부 및 용접이 이루어지는 주공정의 장소이다. 이때 shop-1은 보통 C/S 배관을, shop-2는 A/S 배관을, 그리고 shop-3는 S/S 배관 및 특수한 재질을 제작하기 위한 장소로 구분되는 것이



[그림 1] 표준 공장가공배관 배치



〈표 1〉 주요 제작 기기 목록

No.	Equipment	Specification	Q' ty
1	Over Head Crane	10 TON	5
2	Over Head Crane	5 TON	3
3	Gantry Crane	10 TON	1
4	Gantry Crane	5 TON	1
5	Transfer Car	5 TON	2
6	Forklift Truck(diesel)	7.5 TON	1
7	Forklift Truck(Electric)	1.8 TON	1
8	Manipulator(for SAW)	3.5 M×3.5 M×8 M	1
9	Manipulator(for SAW)	3 M×3 M×6 M	1
10	Band Saw M/C	φ 850	1
11	Band Saw M/C	φ 500	1
12	Air Plasma C/T M/C	140 amp	1
13	Chain Gas Cutting M/C	φ 900	2
14	Nozzle Hole C/T M/C	φ 80 - φ 600	1
15	Facing M/C	φ 800	1
16	Lathe	L = 1500 mm	1
17	Portable Beveling M/C	- φ 200	2
18	Radial Drill M/C	500 amp	1
19	TIG Welding M/C(usable Arc)	500 amp	10
20	CO ₂ Welding M/C	500 amp	10
21	SAW Welding M/C	1000 amp	1
22	Gouging M/C	1000 amp	1
23	Welding Dryer	500 kg	1
24	Welding Dryer	300 kg	1
25	Portable Welding Dryer	5 kg	5
26	Rotator	1.5 Ton	5
27	Turning Roll M/C	5.0 Ton	5
28	Turning Roll M/C	20.0 Ton	1
29	Air Compressor	5 HP	1
30	Air Compressor	50 HP	1
31	Air Compressor	2 HP	1

welding)을 하게 된다. 이후 용접 잔재들을 제거하는 작업을 거쳐 제작이 완성된 shop spool은 표면의 이물질을 제거하기 위해 표면처리를 하고 마지막 단계인 도색을 한다. 최종검사를 거쳐 이상이 없으면 포장 및 운송으로 작업은 완료된다.

〈표 2〉 시험 및 검사 기기 목록

No.	Equipment	Specification	Q' ty
1	Vernier Calipers	0 - 1000 mm	1
2	Vernier Calipers	0 - 600 mm	1
3	Vernier Calipers	0 - 300 mm	1
4	Digital Vernier Calipers	0 - 300 mm	2
5	Level	300 mm	2
6	Level	600 mm	2
7	Level	1000 mm	2
8	Angle Level	0° - 120° [0.1°]	1
9	Tape Mesurement	5.5 m × 19 mm	5
10	Tape Mesurement	7.5 m × 25 mm	5
11	Tape Mesurement	20 m × 13 mm	2
12	Steel Ruler	300 mm	2
13	Steel Ruler	600 mm	2
14	Steel Ruler	1000 mm	2
15	Square	200 x 300 mm	2
16	Square	400 x 600 mm	2
17	Welding Gauge	0 - 40 mm	4
18	Digital Temperature Gauge	-50°C - 999°C	4
19	Ultrasonic Thickness Gauge	0 - 255 mm	1
20	Digital Clamp (Hook) meter	Max. 600 amp	1
21	Coating Thickness Gauge	0 - 3000 μm	1
22	Mirrors for Inspection	Round φ 60	1
23	Marking Punch	1/4" & 5/16", HSS	2
24	Water Pressure Pump	500 kgf/cm ²	1
25	Pressure Gauge	500 kgf/cm ²	3
26	Pressure Gauge	50 kgf/cm ²	6
27	Dead Weight	1 - 60 Mpa	1

결국 공장가공배관의 핵심은 수많은 도면, 수많은 종류의 자재, 다양한 제작과정 및 수많은 검사 및 보고서 그리고 수천의 shop spool을 정해진 일정 에 맞추어 제작과 공급할 수 있는지의 관리 시스템이 좌우하는 업무의 특징을 갖고 있다.

(1) 도면 관리

발주자로부터 접수 받은 배관입체도면(Isometric Drawing)은 프로젝트의 규모에 따라 크게 다를 수 있으나 일반적으로 A3 Size 기준으로 적게는



- ④ 용접 가공면 형식을 표기한다. 가공면 형식은 pipe의 두께에 따라 용접가공면을 일반적인 사항으로 처리하는 것이 좋다.
- ⑤ 각 용접 고유번호에 해당하는 WPS No.를 기입해야 한다.
- ⑥ Spool 제작 후 도색을 할 수 있도록 도색기호를 기입한다.
- ⑦ 전기 사업법 등 법정검사 해당 여부를 기입해야 한다.
- ⑧ 설계 압력 및 온도를 기입해야 한다.
- ⑨ 공장가공 입체도면 번호를 기입해야 한다.
- ⑩ 품질관리 차원에서 양식 좌측 하단에 각 단계에 해당하는 작업자가 작업완료 후 직접 서명하는 확인란을 만들어야 한다. 주요 단계는 자재 확인, 취부, 용접, PWHT, NDE, 종합검사 그리고 표면처리 및 도색으로 구분한다.

(2) 자재 관리

프로젝트의 규모에 따라 다소 차이는 있으나 대개의 단일 플랜트를 위한 공장가공배관 물량이 적게는 1,000 ~ 10,000 ton 이르고, 이를 다시 배관 자재 종류별 수량으로 환산하면 수천에서 수 만개의 배관자재를 공장가공배관 업체에서 관리를 해야 한다. 대다수 국내 프로젝트의 경우 발주자가 자재를 공급하기 때문에 업체는 자재 입고부터 제작, 출고까지 자재관리를 어떻게 하느냐에 따라 성패가 좌우된다고 해도 과언은 아닐 것이다. 이는 곧, 철저한 자재관리 시스템에 의하여 통제되고 관리되지 않으면 분실, 혼용 사용, 파손 등 제작에 직접적인 영향을 줄뿐더러 재 구매에 따른 많은 비용과 납기 및 품질에 치명적인 결과로 나타나게 된다.

따라서 공장가공배관 업체에서는 이를 위한 자재관리 절차를 확립하고 이를 관리, 조절 할 수 있는 자재관리 시스템을 구축하여 운영하지 않으면 다품종, 대량의 배관자재를 생산 및 품질 관리

에 연계하여 제작이 불가능한 것이다. 자재관리 흐름의 주요 과정들을 단계별로 살펴보면 다음과 같다.

- ① 발주자로부터 사급자재 목록 및 자재수량을 접수한다.
- ② 자재를 수령하고 입고 목록을 만든다.
- ③ 자재 수입검사를 실시하고 검사보고서를 발주자에게 통보한다.
- ④ 이상이 없는 자재에 대해서는 자재관리 system에 입력한다.
- ⑤ 등록이 끝난 자재는 자재 식별을 하고 보관한다.
- ⑥ 이후 현장에 투입하여 자재를 사용한다.

(3) 생산 관리

모든 공장가공제작 도면이 승인되고 자재 입고가 시작되면 shop spool 제작을 시작할 수 있다. 주요공정은 자재입고 → 자재분류 및 가공 → 취부 용접 → 비파괴검사 → 후열처리 → 검사 → 표면처리 → 포장 → 운송의 생산과정을 거친다.

아울러 각 생산 단계별로 필요한 주요제작기와 검사항목이 정리되어 있다. 하지만 이 모든 단계를 생산에서 모두 책임지는 것은 무리이고 일반적으로 취부 → 용접까지만 생산관리로 제한하는 것이 현실이다. 비파괴검사 및 후열처리는 전문업체에서 수행하는 것이 보통이고, 때에 따라서 표면처리 → 포장 → 운송까지를 전문업체에 외주처리 하는 경우도 있다.

하지만 생산 절차서가 각각 별개로 단절되는 경우는 없으며 모두가 유기적 연결이 되어 있으므로 이를 통합관리 할 수 있는 시스템 운영이 중요하며 항상 모든 spool에 대한 생산단계를 정확히 파악할 수 있어야 한다. 또한 보통의 1개 프로젝트에서 생산하는 shop spool의 수량이 보통 몇 천개이상 발생됨으로서 일반적인 관리는 어렵고 대개의 경우 spool별 제작 현황을 매일 관리하지 않으면 생산 현황 및 단계를 파악하기 어렵다.



하다.

- ④ 고합금강등 비파괴 및 열처리가 까다로운 경우도 처리가 용이하다.
- ⑤ 표면처리나 도색 고정설비가 있어 비교적 환경문제에 자유롭다.
- ⑥ 전문 공장이므로 눈, 비등 자연조건에 관계 없이 작업이 가능하다.
- ⑦ 모든 품질관리 절차가 있어 문제 추적 및 해결이 용이하다.
- ⑧ 현장 설치기간이 파격적으로 단축되어 공기 관리가 용이하다.

2) 공장가공시 단점

- ① 자재를 Spool 단위로 운반하므로 현장 제작시 보다 운송비용이 추가 된다.
- ② 현장 제작시 보다 빠른 도면 완성도를 요구한다.

(2) 현장 제작시 장점 및 단점

1) 현장가공시 장점

- ① 운송 비용이 절감된다.
- ② 현장 설치일정 변동 시 대응이 용이하다.

2) 현장가공시 단점

- ① Spool 제작을 위한 공장이 필요하다.
- ② 원자재를 적치하기 위한 야적장이 추가로 필요하며 자재 분실 우려가 있다.
- ③ 배관재 절단 및 배관 면 가공 기기를 구입해야 한다.
- ④ FCAW, SAW 용접기 및 장비(turning roller, position 등)를 추가적으로 구비해야 한다.
- ⑤ Shop 제작 대비 3배 이상의 생산성 및 품질 저하된다.
- ⑥ 설계, 자재 및 제작 관리, 품질관리 요원이 추가적으로 필요하다.
- ⑦ 비파괴 검사를 위한 추가적인 공간이 필요하다.

⑧ 열처리 장비를 구비해야 한다.

⑨ 지역노조 파업으로 인한 생산성 저하 우려가 있다.

⑩ 저급한 시설로 인한 환경문제 및 민원 발생 우려가 있다.

4. 결 론

앞에서 언급한 바와 같이 세계 플랜트 시장의 호황으로 인하여 국내 건설업체들이 많은 EPC Turn-Key 프로젝트를 수주하고도 이를 성공적으로 수행할 전문인력의 부족으로 인해 설계 및 시공에 있어 많은 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제의 해결에는 장기적 관점에서 풀어야 할 설계 인력 부분도 있지만 현장 시공의 가장 많은 인력과 공기를 요구하는 배관시공 부문을 과감하게 전문 공장가공 배관으로 전환시켜 현장의 공사단계를 최소화 함으로써 제반 문제 해결을 시도해야 할 것이다. 따라서 공장가공배관이 성공적으로 적용되기 위해서는 다음과 같은 관련업무가 병행되어 전개되는 것이 그 지름길이다 하겠다.

첫째, 3D-Modeling(PDS, PDMS) 프로젝트에서 shop spool 도면이 자동 생성 될 수 있도록 시스템 개발이 되어야 한다.

둘째, shop spool의 계획생산을 위하여 자재 구매, 운반 및 제작을 연계 하는 자재관리 시스템이 개발되어 운용 되어야 한다.

셋째, shop spool 제작 절차서가 실제 제작업체와 연계하여 적용, 관리 될 수 있도록 하여야 한다.

넷째, 일반적인 배관자재에 대해서는 제작업체로 하여금 공급하게 하여 자재 구매로 인한 시간 및 손실을 최소화 하여야 한다.

다섯째, 공장가공배관을 제작하여 현장에 공급됨을 전제로 운송 및 통관(해외) 그리고 현장 시공계획을 정립하여야 한다.

아울러 공장가공배관이 현장 제작에 비해 여러 조건에서 유리한 장점들을 가지고 있다 할지라도

