

## 제관물 제작 공장의 레이아웃 설계 및 시뮬레이션에 관한 연구 A Study on Layout Design and Simulation of The Steel Fabrication

하승진\*, 권봉재, 류상훈, 김종철  
현대중공업 산업기술연구소

### 요 약

본 연구에서는 먼저, 신규 투자 공장에서 생산되는 제품의 공정 특징을 만족할 수 있는 레이아웃을 설계하였으며, 시뮬레이션을 이용하여 설계된 레이아웃에서 제품 타입별로 요구되는 생산 물량을 처리할 수 있는가를 평가하였다. 이를 위해 여러 대안의 제시 및 시뮬레이션 평가를 수행하였다. 본 연구의 결과 경제성을 고려한 신규 공장의 적절한 레이아웃 설계 및 운영 방안을 제시하였다.

### 1. 서 론

시설투자 대안에 대한 평가를 수행함에 있어 시뮬레이션의 응용은 현실적인 대안을 가장 유효하게 평가하여 각 대안들의 장단점을 비교할 수 있는 유용한 도구 중에 하나이다. 특히, 근래에 발표되고 있는 시뮬레이션 도구들은 시각적 효과를 병행할 수 있으므로 새로운 시설투자 계획안에 대한 이해의 폭을 넓히고 투자 시에 발생할 수 있는 문제점을 사전에 발견하여 해결할 수 있도록 해준다.

본 연구에서는 시뮬레이션의 이러한 장점들을 신규로 시행되는 대규모 공장의 설비투자에 적용함으로써 투자비 절감, 물류 효율성 증대, 단계적 투자 대안 제시 등을 가능하게 하여 시설투자의 효과를 증대시키는데 목적을 두고 수행하였다. 이를 위해 신규 공장의 레이아웃을 설계하고 투입되는 장비의 성능을 고려하여 일반적인 신규 시설 투자 시 가장 중요한 고려요소로 평가되는 공장의 생산 가능 물량을 우선적으로 평가하였다. 또한, 시뮬레이션의 결과 병목 공정으로 판단된 공정에 대한 운영방안을 제시하여 추가적인 투자비 없이 목표생산량을 생산할 수 있도록 하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 신규 공장 레이아웃 설계

공장 레이아웃은 문제 자체가 가지고 있는 정성적 및 정량적 특징으로 인해 실제 문제에서 최적화된 결론을 도출하기가 매우 어렵다. 본 연구에서는 이러한 점들을 감안하여 공장이 위치하게 될 장소에서 제품 생산 공정의 특징과 향후 생산량 증대에 대한 시설 확장 가능성 등에

중점을 두고 레이아웃을 설계하였다. 이를 위해 생산제품 타입에 따른 공정 및 정확한 생산예상량을 산출하고 이에 따라 초기 레이아웃을 결정하였다.

#### 2.1.1 공정 및 생산량분석

본 연구의 대상인 제관물 제작 공장은 초고압차단기(이하 GIS : Gas Insulated Switchgear)의 외함인 탱크와 지지용 구조물을 생산하는 공장으로 주된 생산 공정은 판재의 절단, 소성가공 및 용접으로 구성된다. 주로 사용되는 원자재의 재질은 연강과 스테인레스강, 알루미늄 합금 등이 사용된다. 기존 공장에서는 이러한 복합재료가 같은 작업장에서 동시 다발적으로 가공 및 용접됨으로 상호간의 물성적 성분 특징으로 인해 용접시 불량률이 높았으며, GIS의 초고압화 경향으로 전체 생산 물량의 비율도 기존의 연강 및 스테인레스강 혼합 제품타입에서 알루미늄 합금을 주로 사용하는 등으로 변경되고 있다. 이에 대한 개략적인 공정 및 제품 형상을 살펴보면 다음 그림 1 및 그림 2와 같다.

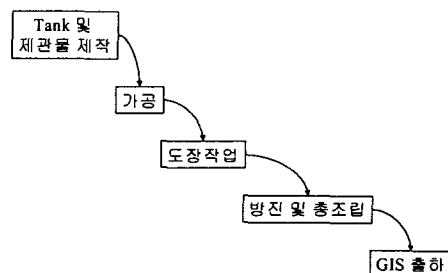


그림 1. GIS 제작 공정

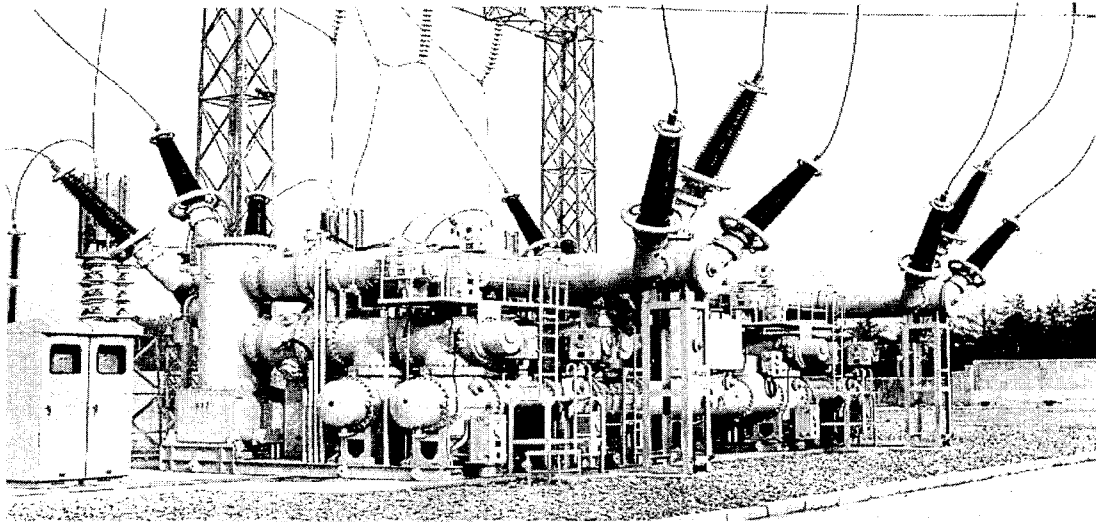


그림 2. 고압차단기

신규 공장의 1일 및 연간 만족 생산 목표량은 1일 약 11Tank에서 13Tank, 연간으로는 2800Tank에서 3300Tank를 목표로 하고있다.

2.1.2 공장의 확장성 및 후속 공정과의 연관성 분석

물량분석의 결과 향후 주된 생산 물량은 알루미늄 합금이 주재료인 제관물로 변경될 것으로 예상됨으로 알루미늄 합금용 제품을 생산하는 공간을 확장하기 용이한 위치에 배치하는 것을 원칙으로 하고, 후속 공정인 기계가공 공정으로 원활하게 물류가 진행될 수 있도록 각 제품의 마무리 공정(사상 및 검사)을 향후 기계가공 공정을 이설 할 수 있는 장소에 두기로 하였다. 이를 통해 전체 적인 물류의 흐름을 원활히 하고 향후 생산량 증대에 효율적으로 대처할 수 있도록 하였다.

2.1.3 레이아웃 설계

이상과 같은 분석결과를 이용하여 얻은 레이아웃은 다음 그림 3과 같다.

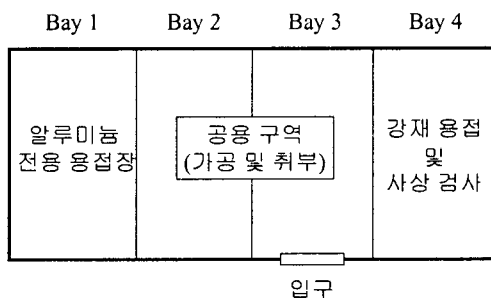


그림 3. 신설 레이아웃 안

그림 3에서 Bay 1의 왼쪽으로 공장의 확장 가능성을 고려하였고 Bay 4의 위쪽으로 가공설비들의 이전을 고려하였다.

2.2 시뮬레이션

일반적으로 대규모 공장 증설의 경우는 증가되는 소요에 대처하기 위한 방안 중에 하나로 시설투자가 집행되는 경우이거나 신규 사업 진출을 위한 사전 준비인 경우가 대부분이다.

본 공장의 경우는 앞 절에서 언급한대로 증가되는 수요에 대한 대처가 가장 큰 목적이었으므로 이에 대한 평가를 우선적으로 수행하였다.

이를 위해 설계된 레이아웃 안을 대상으로 전체 처리 가능 생산량에 대한 평가를 수행하였다. 이의 결과에 따라 목표생산량을 처리할 수 있도록 여러 대안들에 대한 시뮬레이션도 함께 수행하였다.

시뮬레이션을 수행하기 위해 가정한 기본적인 사항은 다음과 같다.

- ① Run Time : 250일/년 × 9시간/일
- ② 제품 원자재별 비율(SUS:AI) : 50대50
- ③ Worm-up Period : 100시간

각 공정별 공정시간은 신규 장비가 투입되는 경우에는 장비의 능력에 따른 용접 속도와 대상 제품의 크기에 따른 용접장 및 Arc을 등을 고려하여 산출하였으며, 수작업인 경우는 현장에서 제시한 평균(최빈값)에 ±10%의 변동을 고려하여 사용하였다.

2.2.1 1차 시뮬레이션 및 결과

1차 시뮬레이션에서는 기존의 수작업에 대비하여 신규 공장에서 생산할 수 있는 생산물량에 대한 대비를 수행하였다. 이를 위해 1일 투입되는 제품의 수량이 전체 공장의 운영에 영향을 미칠 수 있다는 가정 하에 현재 수작업으로 생산 가능한 최대 물량인 1일 7Tank에서부터 신규 공장에서 목표로 하고 있는 1일 최대 물량인 15Tank 까지 수량을 계속적으로 증가시키면서 각각에 대해 10회의 반복 실험을 실시하였다.

표 1. 일간 Tank 투입 물량 변동에 따른 생산량 시뮬레이션 결과

일간 Tank 투입수	년간 생산량	일일 평균 생산량	평균 처리시간	비고
7 Tank/일	1618.3 Tank	6.47 Tank	21.54 HR	
8 Tank/일	1851.4 Tank	7.41 Tank	22.39 HR	
9 Tank/일	2054.7 Tank	8.22 Tank	45.90 HR	
10 Tank/일	2058.2 Tank	8.23 Tank	157.81 HR	
11 Tank/일	2045.3 Tank	8.18 Tank	251.73 HR	
12 Tank/일	2042.4 Tank	8.17 Tank	331.93 HR	
13 Tank/일	2021.7 Tank	8.09 Tank	397.29 HR	
14 Tank/일	2022.4 Tank	8.09 Tank	454.69 HR	
15 Tank/일	2014.1 Tank	8.06 Tank	501.79 HR	

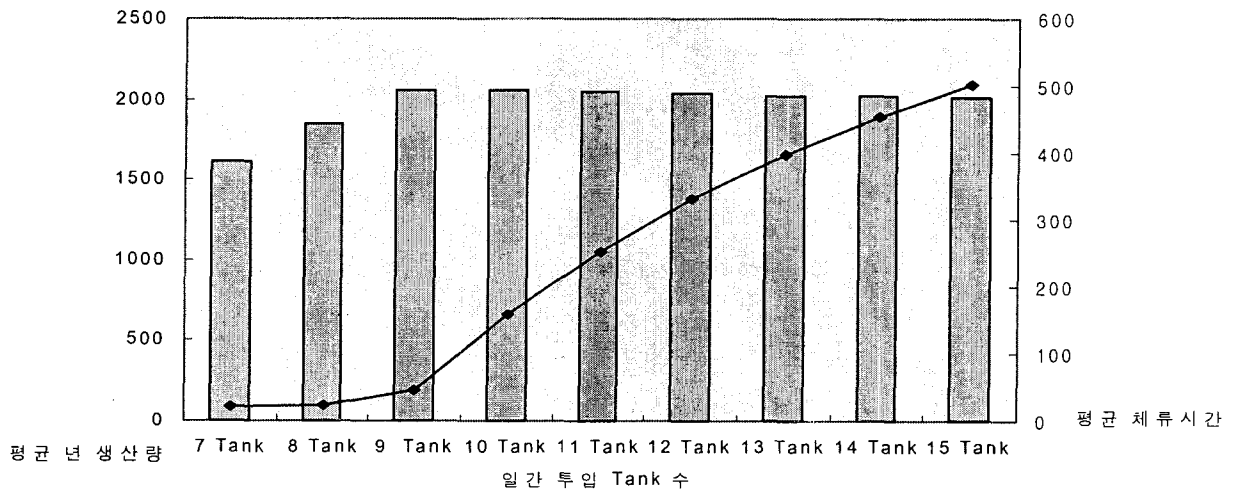


그림 4. 투입량 변동에 따른 평균 년 총생산 및 평균 체류시간

이에 대한 결과가 표 1. 및 그림 4.와 같다.  
표 1.의 결과에 나타난바와 같이 제품의 투입이 7Tank에서 9Tank까지는 점진적으로 생산량이 증가하다가 10Tank 이상에서부터는 Tank의 생산량의 증가는 거의 정지한 채 평균체류시간만이 기하급수적으로 증가되는 것을 볼 수 있다. 일반적인 경우 이러한 현상은 공정 중에 어느 장비나 공정이 병목공정으로 존재할 때 발생하는 현상이다. 이러한 현상에 대한 분석을 실시한 결과 공정 부하량을 수작업으로 분석한 결과에서 나타난 바와 같이 Flange Fit-Up 장비가 병목공정으로 판단되었다. 따라서 본 장비의 생산능력을 확대하는 방향으로 2차 시뮬레이션을 수행하였다.

#### 2.2.2 2차 시뮬레이션 및 결과

2차 시뮬레이션에서는 1차 시뮬레이션 결과 병목공정으로 판단된 Flange Fit-up 공정에 투입되는 장비를 2대로 변경하여 시뮬레이션을 실시하였다.

이 결과 생산량은 1일 8Tank 내외(년 2000Tank)에서 11Tank 내외(2700Tank)로 증가

되어 초기 생산목표량에 근접하는 것을 알 수 있었다. 그러나, 여기에서 언급한 대안인 장비의 대수를 증가시키는 것은 현실적인 대안이 될 수 없고 단지 시스템의 동적인 변동 현상만을 파악하는 것일 뿐이다. 왜냐하면 이는 투자비의 상승을 가져 올 뿐만 아니라 현실적으로 공장 안에 장비를 설치할 수 있는 물리적 공간이 필요하기 때문이다.

#### 2.2.3 3차 시뮬레이션 및 결과

3차 시뮬레이션에서는 좀더 현실적인 대안으로 1차 시뮬레이션 모델을 대상으로 병목공정인 Flange Fit-up 장비에 대한 작업배분의 우선순위 규칙을 변경하는 안에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이는 일반적인 시뮬레이션에서 사용하는 우선순위 규칙인 FIFO(First In First Out)기법이 아닌 병목공정에 한해서만 전체 제작공정 상의 필요에 의해서 발생하는 T-Drill 공정 이후의 재 Fit-up 공정을 우선적으로 처리하는 방법이다. 이 경우 T-Drill 공정을 수행하고 다시 Fit-up 기계에 들어온 대상 제품의 측정 결과가 합격되면 후 공정으로 직송되고 아닐

경우에는 재 Fit-Up이 수행되는 공정을 좀더 현장과 유사하게 표현하기 위해 도입하였다. 이는 한 대의 기계에 대한 일정계획을 수립 할 때 평균처리시간 면에서 최적해를 보장하여 주는 SPT(Shortest Process Time)규칙에 대한 응용이라고 할 수 있다.

이러한 우선 순위 규칙을 적용한 결과 1차 시뮬레이션에 비하여 약 21%의 개선 효과를 보았으며 평균체류시간에 대한 쌍t검증에서도 개선효과가 있는 것으로 판명되었다.

#### 2.2.4 4차 시뮬레이션 및 결과

3차 시뮬레이션에서 간단한 우선순위 변경 등으로 전체적인 체류시간과 생산량 면에서의 개선효과를 거두기는 했으나 생산량 면에서는 초기에 계획하였던 목표량에 미치지 못함으로 3차 시뮬레이션과 더불어 또 다른 대안의 제시가 필요하였다.

이를 위해 현실적으로 가능한 대안인 병목공정에 대한 수작업을 추가적으로 도입하는 안을 제시하여 3차 시뮬레이션 모델과 결합하여 시뮬레이션을 수행하였다.

이때에는 Flange Fit-up 장비에서 최대 대기 가능 물량인 8Tank를 기준으로 하여 본 공정에서 이 숫자를 넘는 대기 물량의 발생 시에 수작업자를 투입하는 것으로 가정하였으며 다시 수작업 물량이 위의 숫자를 넘을 경우 추가적으로 두 번째 작업자를 투입하는 것으로 가정하였다. 단 최대 투입 가능한 수작업은 두 군데에서 실시하는 것으로 가정하였다.

이 결과 1일 및 전체 생산량 측면에서 초기에 목표로 했던 생산 목표량과 가장 근접한 13Tank/일 및 3250Tank/년 가량의 결과를 얻을 수 있었다. 생산량이 크게 증가하지 않은 것은 수작업 공정의 시간이 장비를 사용할 때보다 약 3배 정도의 시간을 요하기 때문이다.

### 3. 결론

본 연구에서는 생산제품의 물성적 특징, 물량 확대에 따른 공장의 확장성과 후속공정과의 유연한 연계성 등을 고려한 레이아웃을 설계하였다. 또한, 초기 레이아웃 안에 대한 생산량 처리 가능성을 검증하였고 생산량 처리를 위한 새로운 대안을 제시하기 위해 장비대수, 장비운영방안, 추가적인 작업장확보 등의 작업조건을 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였다.

시뮬레이션의 결과 초기 레이아웃 안으로는 병목공정이 발생하고 목표 생산량 처리에 문제점이 있음을 제시하였다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방안으로 추가적인 장비의 증설, 장비운영방안의 개선 및 수작업 추가 등에 대한 시뮬레이션을 실시하였다. 이를 통해 병목공정의 해소 및 생산량 부족 분에 대한 처리를 위한 경제적이고 현실적으로 적용 가능한 대안을 제시하였다.

즉, 투자비의 증가 억제 및 공간적 제약 등을 고려하면서 병목공정 장비에 대한 적용 가능 운영방안과 과부하 현상을 줄이기 위한 수작업 인원을 확보 등의 방법을 제시하여 전체 목표 생산량을 처리 가능하도록 하였고 시뮬레이션을 통해 이를 검증하였다.

### 참고 문헌

1. 문일경, 윤원형, 조규갑, 최원준, *ARENA를 이용한 시뮬레이션*, 1999년, 교보문고.
2. 조규갑, *생산시스템 공학*, 1986년, 회중당.
3. 조규갑, 문일경, 윤원형, 김영규, "전자레인지 조립라인의 생산물류 분석 시뮬레이션", *IE Interface*, 제12권, 제1호, 1999년.
4. 정귀훈, 정수원, 박동환, 김중철, 권경열, "시뮬레이션기법을 이용한 유압생산부 설비배치 계획의 분석", *IE Interface*, 제5권, 제2호, 1992년.
5. 김재곤, 이근철, 김영대, "그래프 이론을 이용한 설비배치 계획에 관한 연구", *대한산업공학회지*, 제23권, 제2호, 1997년