

다품종 주문생산 방식의 조립시스템 자동화에 관한 연구 Study for Assembly System Automation of MTO(Make-To-Order)

목학수 신현창 표승태*

부산대학교 산업공학과

Abstract

본 연구에서는 다품종 주문 생산 방식이 가지고 있는 여러 문제점들 중의 하나인 조립시스템에서의 소량 생산의 문제점을 해결하기 위해 효율적인 조립자동화 시스템을 통해 난점들을 해결하고자 한다. 본 연구의 내용은 첫째, 제품 및 구조의 분석으로 제거 및 통합 가능한 부품 파악을 하며 불필요하거나 생산 및 조립 용이성이 떨어지는 요소를 제거한다. 둘째, 취약 공정의 분석으로써 취약공정의 개선효과를 파악하고 근접 작업장과의 원활한 공정 흐름을 고려하여 취약공정 유무 파악 및 우선 개선 공정을 결정한다. 셋째는 조립시스템에 적합한 대안의 제시으로써 자동화를 위한 적절한 메커니즘을 제시한다. 마지막으로 넷째, 제시된 대안의 평가를 통해 적합성 여부 판정한다. 즉, 미리 설정된 평가 기준에 의한 대안의 평가를 내리게 된다.

1. 서론

다품종 주문생산 방식에서의 조립공정을 자동화하는 것은 생산성을 높이고 수조립에 의한 결함을 최소화시켜서 불량률이 낮은 제품을 대량으로 생산할 수 있다는 장점을 갖자는 것이다. 그러나, 조립공정은 생산의 마지막 단계이므로 선행공정을 거치면서 많은 결함이 축적되어 자동화 할 때 다른 공정에 비해 그 기술적, 경제적 위험 부담이 높고 유연한 시스템을 구축해야 하기 때문에 경제적 부담과 실패의 위험을 안고 있다. 따라서 가용공간이 한정되어있고 투자비용이 한정되어있을 경우에는 완전자동화라는 무리수를 사용하지 않고 유연성 있는 조립시스템(Flexible Assembly System)의 설계가 필요하다[1]. 이러한 것을 위해 조립라인의 효율을 극대화시키기 위해 조립용이성을 위한 설계(DFA : Design For Assembly)와 조립자동화를 위한 제품설계에 관한 연구와 맞물려 부품의 운반, 정렬, 취급, 체결 장치에 대한 연구와 국한된 공간 내에서 효율적인 공간 사용을 위한 기계 및 설비 배치와 평가 대한 연구도 이루어져 왔다[2]. 본 연구에서는 출자의 최종 조립공정을 자동 조립과 수조립을 혼합한 유연성 있는 조립 시스템으로 구축하는 절차를 제시하고자한다[3]. 출자의 특성과 최종 조립공정을 분석하여 새로운 조립순서를 결정하고 파악된 출자의 특성과 조립공정, 생산량, 사이클 타임 등을 고려하여 각 조립공정의 자동화 여부를 결정하게 된다. 이렇게 결정된 자동화할 조립공정들의 특성을 파악하여 조립장비 및 도구를 결정하게 되고 layout의 재배치 및 변경에 의해 새로운 자동화 layout을 결정으로 이루어지게 된다[4].

2. 출자의 부품 및 조립공정의 분석

2.1 출자의 부품 및 조립군의 분석

제품은 하나 이상의 부품들로 구성되고, 조립군은 부품이나 다른 조립군들과 체결되어 결합함

으로써 사용자가 목적하는 기능을 수행하는 하나의 제품을 형성한다[5].출자의 조립군은 출자케이스 조립군, 보빈조립군, Steel Tape 조립군으로 구성되어 있다. 케이스 조립군은 상·하케이스, 고정핀, 스토퍼, 벨트클립, 나사(3)로 구성되어 있고, 보빈 조립군은 스프링상·하케이스, 스프링, 분리심보로 구성되어있으며 Steel Tape 조립군은 Steel Tape, 리벳(3) Hook로 구성되어 있으며 총 17개의 부품으로 구성된다.

Fig.1은 출자의 3가지 조립군을 보여주고 있다.

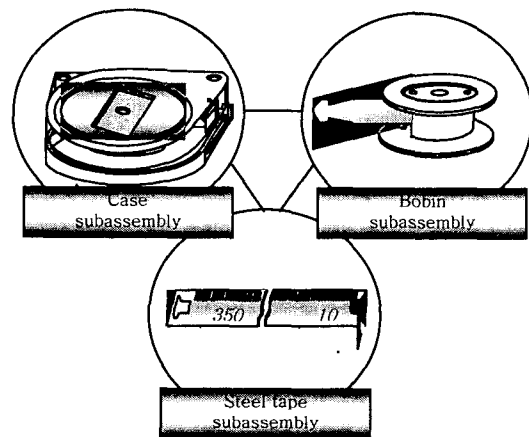


Fig. 1 출자의 조립군

2.2 출자의 조립공정의 분석

출자의 조립공정은 Steel Tape의 절단공정, Steel Tape의 분류 및 묶음 공정, Hook와 보강판 리베팅 공정, 보빈 조립공정, 보빈 체결공정, Steel Tape 감기공정, 불팅공정, 검사공정, 라벨링 공정, 포장공정의 10개의 큰 공정으로 나누어져 있다.

Fig. 2와 같이 크게 10개의 조립 공정으로 분류하였다.

No.	Assembly Process
1	Steel Tape 절단공정
2	Steel Tape 분류 및 묶음 공정
3	Hook와 보강관 리베팅 공정
4	보빈 조립 공정
5	보빈 체결 공정
6	Steel Tape 감기공정
7	볼팅 공정
8	검사 공정
9	라벨링 공정
10	포장 공정

Fig.2 출자 조립공정

Fig. 3은 조립공정 1인 Steel Tape의 절단 공정의 스케치, 세부공정, 공급 부품 및 사용도구, 조립방법, 작업시간을 보여주는 Check List이다.

작업 내용		Steel Tape의 절단 작업	
공급	공급 : Steel Tape Roll (16, 19, 25 mm, 2, 3, 5, 8 m)	준비	5
부품 및 사용도구	작업수행 : 작업자, Tape Cutting Machine	조립	1
도구	도구 : 없음	전체	6
가공방법	Tape Cutting Machine에 의한 Tape 절단		

세부 공정

- Steel Roll을 3층에서 작업자에 의해 조립장으로 운반
- Steel Roll들을 대기장소에 적재
- Steel Roll을 절단기에 장착
- Steel Tape를 절단기에 연결
- 발구름 장치로 Steel Tape를 정지선 까지 보냄
- 작업자에 의해 절단지점으로 정렬 및 위치 고정
- Steel Tape를 절단
- 양품은 작업대에 놓
- 불량 표시기 있는 것은 하단선단에 적재

Fig. 3 Steel Tape 조립공정 Check List

3. 출자 조립라인 구축

3.1 조립공정의 자동화 여부 결정

조립되는 제품의 기하학적 특성, 조립공정의 복잡도 등에 따라서 조립공정의 자동화 여부가 결정되는데 이는 수 조립으로 쉽게 조립되는 공정을 무리하게 자동화를 함으로써 투자경비와 소요 공간을 불필요하게 낭비할 필요가 없기 때문이다. 본 연구에서는 자동 조립과 수 조립의 결정을 위해서 조립공정 측면과 공정에 사용되는 부품 특성 측면을 고려하였다. 먼저 부품 특성 측면에서 운반, 정렬, 취급, 체결 영역의 네 부분의 자동화 전제 조건에 취약한 부품을 구별하여 수 조립과 자동 조립의 여부를 결정하고 나머지 자동화 용이성이 좋은 부분에 대해서는 반복적으로 조립 용이성 측면에서 자동화 여부를 판단하고 이 조립성 측면을 만족시키지 못한 공정들에 대해서는 수 조립으로 행하게 된다. Fig. 4는 보빈 공정의 자동화 정도에 대한 운

반, 정렬, 취급, 체결 분야에 대한 산출법 및 그 자료를 그래프로 나타내고 있다.

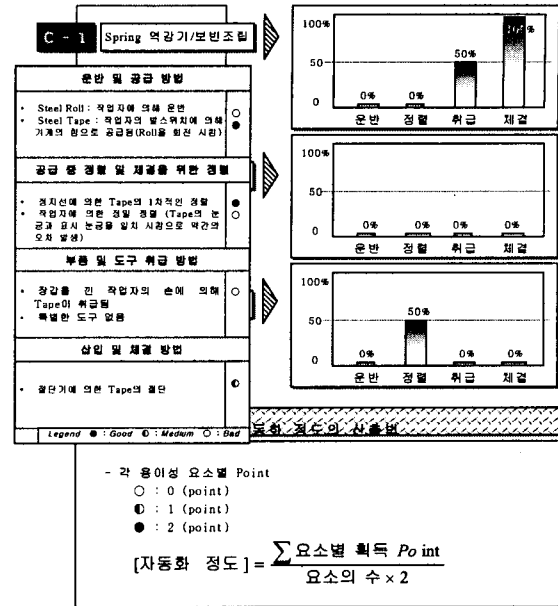


Fig.4 보빈 공정의 자동화 산출 및 결과 그래프

예를 들어 자동화 정도의 산출법에 나온 결과로써 100%라는 것은 자동화 정도가 뛰어나고 50%라는 것은 자동화의 정도가 어느 정도 진행되어 자동화가 가능하다는 것을 나타내고 0%라고 하는 것은 자동화가 거의 이루어지지 않아 자동화의 가능성이 현재로서는 희박하지만 자동화의 가능성이 높다고 해석을 한다.

이러한 데이터들이 가지고 공정별 자동화를 위한 작업 분석을 행하게 된다. 각각의 세부 공정에 대한 자동화를 위한 기본 접근방법을 제시하고 이에 따라 행해져야하는 장치의 설치 및 제품의 재설계를 이끌어 내게 된다[6]. Fig. 5는 공정별 자동화를 위한 작업분석을 도표화 시켜 놓은 것이다.

공정별 자동화를 위한 작업 분석		
공정	공정 자동화를 위한 기본 접근 방법	비고
A1	<ul style="list-style-type: none"> 절단 지점의 정렬 시간 Loss를 줄이기 위한 양품 장치 설치 절단 지점 정렬 및 자동 절단을 위한 메커니즘 Steel tape와 스프링과의 자동 체결(전 접)을 위한 형상으로 끝부분 절단 	<ul style="list-style-type: none"> Size별로 양품장치의 위치 변경이 가능해야 함 Vision sensor 등의 도입이 필요. 먼저 자동 체결을 위한 끝부분 형상 변경해야 함
A2	<ul style="list-style-type: none"> 절단된 Steel tape들의 정렬을 용이하게 하여 함 절단된 Steel tape를 옮기 용이한 부기 장치의 추가 추가 용이한 장치 도입의 필요성 	<ul style="list-style-type: none"> 양품장치의 전개하여 정렬이 용이하게 되어야 함 본 Table에 출품 주여 끈이 손통을 통과할 수 있게 하여 Steel tape를 옮기 용이하게 함 노끈 이외에 자동화할 수 있는 부기 장치 개발의 필요성
B1	<ul style="list-style-type: none"> 체결 시간의 단축이 필요 체결 방법의 변경이 필요 B2 공정의 통합 가능성 점검 	<ul style="list-style-type: none"> Rivet를 정렬하여 공급, Hook 및 보강관의 공급과 체결 방법 검토 슬라이드 방식의 체결, 정렬된 부품이 놓인 체결 기계에 Steel tape를 삽입하여 체결 보강관의 riveting 을 동시에 하는 경우를 고려
B2	<ul style="list-style-type: none"> 체결 시간의 단축이 필요 B2 공정의 통합 가능성 점검 	<ul style="list-style-type: none"> Rivet의 정렬 공급 방법, Hook이 체결된 Steel Tape의 공급 방법 변경, riveting 부분과의 통합

Fig. 5 공정별 자동화를 위한 작업분석
Fig. 4와 Fig. 5에 의해 우선적인 취약공정을 발견

하게 되고 그에 따라 취약공정에서의 제품의 재설계를 시행하게 되고 라인의 효율적인 배치 혹은 재배치가 이루어 지게된다[7].

3.2 취약공정에서의 제품 재설계

다품종의 제품을 생산하는 조립라인에서 조립의 자동화를 위해 우선적으로 필요한 것이 형상 재설계이다. 이는 자동화에 적합한 형상을 가지게 함으로써 지금의 수 조립을 자동조립으로 전환하는 가장 큰 원동력이 된다. Fig.6은 보빈의 형상의 재설계를 통한 자동화 정도를 향상시킨 예이다. 기존의 보빈의 분리 심보의 형상을 변형하고 체결 부위의 확대를 통해 지금보다 뛰어난 조립용이성을 갖게 하고 있다.

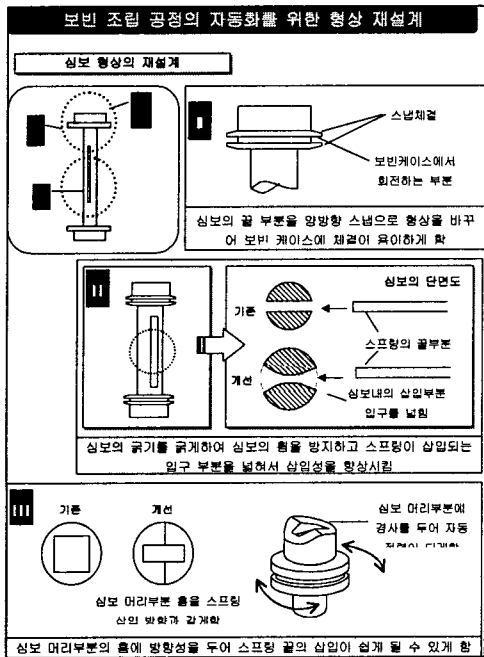


Fig. 6보빈 조립공정의 자동화를 위한 형상 재설계

보빈은 줄자 제품의 핵심 부품으로써 대부분의 작업이 수작으로 이루어지며 숙련공만이 적은 불량률 발생하고 또한 생산성도 좋은 경우였으며 그리하여 자동화를 위한 제품 설계라고 하지만 오히려 제품의 생산성을 떨어뜨리는 결과를 가져 왔다.

위에서 처럼 형상의 재설계를 통하여 자동화의 기능을 현저하게 개선할 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 것을 통해 어느 정도 자동화가 가능한지 앞에서 처럼 자동화 여부를 평가하여 개선 사항이 보이면 채택하는 방법을 선택하고 있다[8].

3.3 취약공정에서의 조립공정의 개선

지금의 조립공정의 작업순서를 효율적으로 재배치함으로써 작업의 복잡도를 줄여 자동화 정도를 높이고 작업순서 재배치에 따른 부분과 형상 특징으로 인한 난이도를 줄이기 위해 3.2에서처럼 형상의 재설계를 이끌어 내었다. Fig.7은 Fig. 6을 바탕으로 하여 조립순서를 재배치한 것을 나타내고 있다. 보빈의 형상 특성상 취급의 애로 문제를 제품

재설계를 통해 제거했으며 공정의 집중으로 인한 작업의 복잡성 증가를 막았다. 그리고 부품 정렬의 어려움을 조립 작업 순서의 변경에 의해 해소했다.

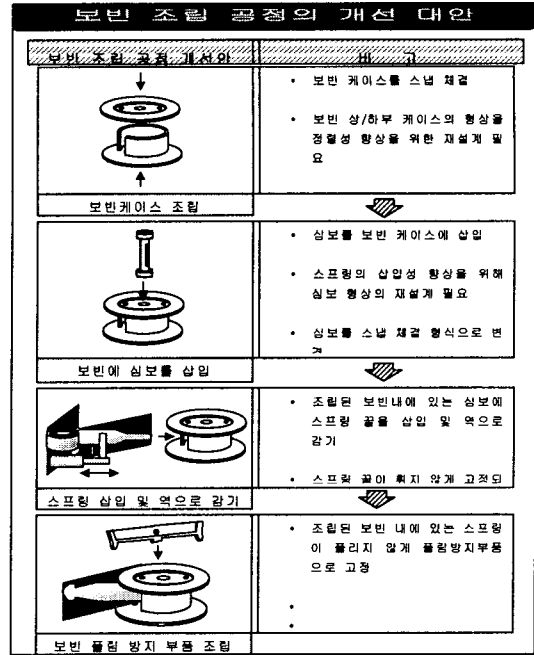


Fig. 7 보빈 조립 공정의 개선 대안

보빈의 특성을 잘 고려한 조립 작업순서의 변경에 따른 자동화의 용이성을 더욱 효과적으로 높였음을 알 수 있다. 이러한 과정을 취약공정의 우선 순위 별로 나타내어 최종의 전체 조립 공정을 이루어 내게 되는 것이다[9].

3.4 조립라인의 구축

자동화의 개념을 충분히 적용할 수 있는 분야에 대해서는 자동화를, 수 조립으로 행하는 것이 더욱 유연한 작업은 현 수 조립을 그대로 유지하는 측면에서 셀 제조 형식의 조립 라인을 구성했다. 기존의 단일 전용 라인의 구조를 여러 가지 셀을 갖춘 형식 구축을 하였다. 한정된 공간의 효율적인 활용이 가능하고 비용이 감소되는 조립라인의 구축이 Fig. 8과 같이 나타낼 수 있다. 기존의 단일 조립 라인에 비해 상대적으로 작업자의 idle time을 감소시키고 여러 공정의 조립을 한 작업자가 동시에 함으로써 다품종의 제품을 생산하는 경우에 보다 효율적인 조립 라인이 된다. 또한 제품이 변경될 때 발생하는 set up time을 감소시켜 조립 라인이 멈추는 시간이 그만큼 줄어들게 된다[10]. 자주 바뀌는 제품에 바로바로 적용할 수 있는 효과도 나타나게 된다. 이러한 수 조립뿐만 아니라 셀 조립장에서 뿐만 아니라 분리된 다른 조립장에서 자동화를 통한 대량의 부품을 생산하게 됨에 따른 효과적인 부품의 공급이 가능해 완전 자동화 못지 않은 생산성을 나타내게 된다[11]. 이러한 과정을 통해 구축된 것이 Fig 8의 셀 조립라인이다. 단일 작업장을 9개의 셀로 나타낸 것이며 하나의 셀에서 줄자의 대부분의 조립이 이루어 지게 되는 것이다.

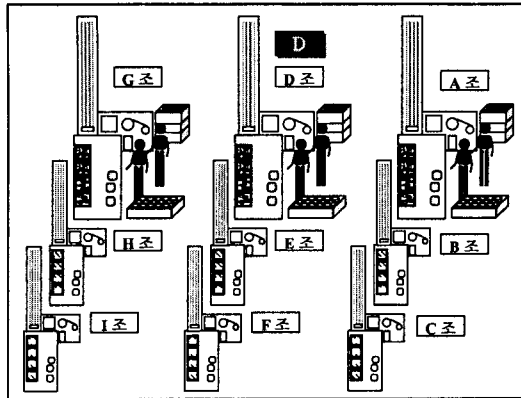


Fig. 8 셀 조립라인의 Layout

이렇게 하여 전 공정의 조립라인이 완성 되었고 기존의 라인보다 훨씬 뛰어난 라인을 구축했다.

4. 결론

제품의 자동화 용이성을 결정하고 조립작업의 분석을 통해 자동화 정도와 용이성을 평가했다. 이것을 토대로 자동화와 관련있는 부품들의 재설계를 했으며 공정순서를 바꾸고 조립라인의 틀을 변경함으로써 기존의 라인보다 자동화의 정도도 높아지고 생산성도 크게 향상 했다. 어느 정도의 자동화에 근접했는지를 우선 평가했고 기존의 조립 라인과 어떤 다른 점이 있는지를 평가했다. 자동 조립과 수 조립의 혼합을 통한 유연성을 크게 증대시켜 다 품종 주문 생산 방식의 제품에 대해 뛰어난 적응력을 가지게 함으로써 다품종 소량 생산이라는 개념을 탈피하여 다품종 대량 생산에 가까운 생산 방식을 채택하기 위해 위와 같은 과정을 거치게 되었다.

참고 문헌

1. FWrank J., "Assembly Automation", Industrial Press Inc., pp. 47-77, 1996.
2. Boothroyd, G., "Assembly Automation and Product Design", Marcel Dekker, Inc., pp.181-208, 1991.
3. Redford, A. and Chal, J., "Design for Assembly", McGraw-Hill, Inc., pp. 75-134, 1994.
4. 목학수, 조종래, "자동화 송풍 모터의 조립용이성과 자동화를 위한 재설계," 한국정밀공학회지, 16권, 11호, pp. 36-46, 1999.
5. Lotter, B., "Manufacturing Assembly Handbook", Butterworths, pp.303-383, 1989.
6. Thomas E., William L., and Clay W., "Manufacturing Planning and Control System, IRWIN, pp. 120-154, 1991.
7. Francis, R. L., McGinnis, L. F. and White, J. A., "Facility Layout and Location: An Analytical Approach", Prentice Hall, pp.27-184, 1992.
9. 황학, "작업관리론", 영지 문화사, pp.129-156,

- 1992.
9. Schmidt, L. C. and Jackman, J., "Evaluating Assembly Sequences for Automatic Assembly Systems", IIE Transactions, 27. pp.23-31, 1995.
10. Rosari, L. M., "Design for Assembly Analysis: Extraction of Geometric Features from a CAD System Data Base", Annals of the CIRP, vol. 38, no. 1, pp. 13-16, 1989.
11. Elsayed A., Thomas O., "Analysis and Control of Production System", Prentice Hall, pp. 344-402, 1994.