

⊗ 응용논문

국내 電子組立業體에서 성공적인 유연 셀 生産시스템 구축
방안과 적용 사례

- An Efficient Operational Technique for constructing Flexible Cell
System in Domestic Electronic Assembly Industry and Case Study -

박 연 기*

Park, Yeon-Ki

안 예 환**

Ahn, Ye-Hwan

한 경 희**

Han, Kyung-Hee

Abstract

This paper presents an efficient operational technique of material feeding process, training for multi-operations, machine conditions, and role of foreman and material-supplying man, for constructing the flexible assembly cells in the domestic electronic industries. And an practical method for computing the number of economical cells is also presented by the cost-effective model that compares the additional assembly machine requirement with the four reductive effects including WIP/finished goods inventory, the troubles in the assembly line, the opportunity loss for small order quantity, and amounts of production management due to the introduction of cell line. An case study is introduced in for a domestic electronic assembly line at the end.

1. 서 론

산업의 소비패턴 변화에 의한 다양성이 경제활동을 지배하고 있는 요즘의 제조업 활동에 있어서 유연생산 방식의 일종인 Cell Line(이하 셀라인)의 필요성은 절실하다. 특히 국외 전자조립산업의 경우는 1인 셀 라인까지 출현하고 있다.

국내에서도 효율적 생산방식의 구현과 유연성 제고 측면에서 가전 메이커와 일부 조립업체를 중심으로 셀라인 도입이 확산되고 있는 추세에 있다. 일반적으로 셀을 편성한다는 것은 설비배치 형태와 자재 투입방법을 결정하고, 다기능 작업훈련을 실행하는 것이다. 물론 위의 세가지 결정사항 외에 셀 도입시 중요한 추가 결정사항은 몇 개의 셀을 편성하는 것이 좋으나 의 문제이다. 왜냐하면 셀 수가 많아지는 것은 곧 설비 투자비가 증가한다는 것을 의미한다. 가공라인의 경우에는 당연히 많은 설비투자가 큰 장애가 될 수도 있겠지만 전자조립 라인은 가공라인에 비해 설비 투자비가 극히 적게 들기 때문에 투자이익과 비교하여 셀도입을 고려할 충분한 가치가 있다. 이러한 셀 라인 도입 여부는 타회사가 도입했다고 해서 흉내내 듯이 도입해서는 안되며, 체계적인 도입 절차와 성공적 운영지표라는 잣대에 의해 합리적으로 검토, 결정되어 져야 한다. 또한 궁극적인 통합 셀 시스템은 협력업체에서부터 시작하여 고객의 손에 제품이 인도될 때까지 전 과정이 포함되어야 하므로 현장에 셀라인을 설치했다 함은 극히 작은 시작 단계에 불과하다고 말할 수 있다. 그리고 셀 라인의 설치보다 더 중요한 것은 설치 이후의 성공적인 정착을 위해 라인 관리시스템을 어떻게 운영하느냐의 문제일 것이다. 현재 국내

* (주)한국전략경영 책임전문위원 (한국과학기술원 박사과정)

** (주)KISTI 컨설팅 책임전문위원

전자조립 업체에서 하드웨어적으로만 셀 라인을 구축한 후 소프트웨어적 관리 측면을 도외시한 나머지 실패하는 경우가 많은 것은 안타까운 일이다.

셀 생산 시스템이라는 개념은 보통 전자조립 라인에서 통용되는 개념이기 보다는 가공이나 가공물 조립라인에 의해서 많이 소개되었다. 또한, 대부분의 기존 논문들도 가공이나 가공물 조립라인을 대상으로 하고 있고, 다루는 주제들도 대부분 설비배치 문제나 이동거리 단축, 제한된 조건에서의 설비가동을 향상, 기능적 측면의 적정 셀수 결정을 테마로 하고 있다. 또한 가공라인에서는 MGM (Machine Grouping Method), GT (Group Technology) 기법을 근간으로 작업순서 (operation sequence) 를 고려한 셀간, 셀내 자재 이동 횟수를 최소화시키는 발견적 해법(heuristic approach) 으로 이론적인 셀 구성과 셀내 설비배치를 도출하는 경우가 일반적이다[7][8][9][10]. 그러나, 전자조립 라인의 경우는 주어진 제품별 작업순서가 단순, 유사하고 설비 투자비가 가공라인에 비해 훨씬 저렴하기 때문에 이동거리의 문제, 설비 가동율의 문제 등을 무시할 수 있을 정도이다. 이러한 관점에서 전자조립라인의 셀 편성 접근방식은 자재 이동거리 측면보다는 셀 라인 구축시 재고 감소 효과, 라인 트러블 감소효과, 소량주문 흡수효과, 생산관리 인원 감소효과 등의 측면에서 실질적으로 검토되어야 한다.

따라서 본 논문에서는 그 동안 업체의 셀 라인 구축을 지도했던 컨설팅 경험을 토대로 셀 도입시 전자조립산업의 인적 다기능 조건과 인원구성, 자재이송 방법, 감독자의 역할, 자재납입 프로세스, 셀 설비의 조건, 휴식시간의 활용 등의 활동항목을 대상으로 성공적인 셀 라인 구축에 필요한 운영기술을 제시하고자 한다. 또한 적정 셀수를 결정할 수 있는 간편한 산정식을 제시하여 셀 구축을 하는 국내 전자업체에 실무적으로 도움을 주는 목적으로 연구되었다.

2. 국내 전자조립 라인의 문제점과 셀 도입 현황

2.1 일반적 문제점

국내 전자조립 라인이 직면하고 있는 현안 인 자재재고, 생산로트, 자재이송 방법, 인적활용, 설비가동율의 문제등은 대부분 콘베어 사용에 따른 비탄력적 생산방식의 운용에서 기인되고 있다.

(1) 라인 운영로스

레이아웃 변경이나 탄력적 재배치가 불가능한 전자조립 콘베어 라인의 경우 라인 운영로스는 작업부하 불균형에 의해 발생하는 라인 언밸런스 로스와 어떤 특정 요소작업의 문제점이 연속되는 타작업에 영향을 미치는 간섭 로스의 두가지 형태로 발생하게 된다. 즉 아무리 라인 바란스를 개선하고 피치타임을 조정한다 하더라도 부분적 문제가 전체에 영향을 미치는 대형 콘베어 라인에서 이러한 라인 운영로스는 제거할 수 없는 문제점으로 계속 남게 되는 것이다.

(2) 비탄력적 인원(생산능력) 운용

국내 전자산업의 대형 콘베어 라인은 가동시간의 변화가 올 때마다 탄력적으로 인원을 조정하고 작업 부하량을 조절해야 하는데 실제로는 가동시간을 조정해서 변화에 대처할 수밖에 없는 실정이다. 만일 인원수 조절로 재배치를 해야 한다면 이는 오랜 시간 동안 고정적 자리에서 고정작업을 해온 다수 작업자를 설득시켜야 하고 다기능 작업을 사전에 훈련시켜야 하는 어려움을 안고 있는데, 이는 편성상의 문제외에 작업자의 심리적 문제가 탄력적 인원운용에 걸림돌이 되기 때문이다.

(3) 느슨한 품질책임 범위

수십 명이 한조를 이루어서 생산(조립)을 하는 컨베어 라인에서는 전체 작업중 극히 일부분 만을 담당하므로 제품 품질에 대한 작업자의 책임감도 감소한다. 설령 개인적으로 의지가 있어 책임감이 강하다 하더라도 작업과 검사의 분리로 인해 품질문제가 발견되는 시점에 즉시 관리자에게 전달되기가 어렵기 때문에 개선되기 힘든 것이 현실이다.

(4) 다기능 작업훈련의 문제

컨베어 라인에서의 작업훈련 실시는, 첫째 훈련실시 기간중의 일시적인 라인 효율 저하, 둘째 훈련실시로 잦은 자리이동에 따른 작업자, 감독자의 심리적 불안, 셋째 다기능 작업훈련에 따른 훈련기간의 장기화 등의 세가지 문제 때문에 국내 전자산업에서 조립라인의 계획적인 다기능 훈련 실시 현황은 극히 저조한 편이다. 한때 미국 Motorola의 PQM (Productivity Quality Management) 작업훈련 기법이 국내 몇 개 기업에서 적용 된 적이 있으나 크게 확산되지는 않았고 최근에는 이마저도 거의 사라져 가고 있다.

(5) 자재이송(Feeding) 체계와 납입체계

국내 전자산업의 대형 컨베어 라인에 빠른 속도로 자재를 소비하는 특징을 갖고 있기 때문에 자재투입 속도도 대단히 빠르다. 원래 자재의 공급은 BOM(Bills Of Material) 식 자재이송을 원칙으로 제시하고 있지만 실제 국내 전자조립 라인에서 부품별 대로트 공급형태인 Non-BOM식 자재 이송방식으로 운용되고 있는 실정이다. 이는 전공정이나 서브조립 공정에서 대로트 작업형태를 유도하게 되고, 이때 고속도 조립라인은 운반도구를 매개체로 납입체계상에서 원자재 납입 로트를 크게 하는 주요인 되며, 결과적으로 원자재/부품 재고를 크게 증가시키게 한다.

2.2 국내외 전자산업의 셀적용 현황

약 3-4년 전부터 국내의 전자조립 공장들이 기존 컨베어를 해체하고 셀조립 라인으로 전환시키기 시작했다. 사실 1990년 초부터 이론적으로는 많은 연구가 있었지만 근래에 가공 셀보다 조립 셀이 먼저 현장에서 실시되기 시작한 것은 상대적으로 저렴한 설비투자비와 효과에 대한 확실성 때문일 것이다. <표 1>은 국내 2사와 미국 COMPAC사가 발표한 자료를 토대로 조립 셀 라인 추진 효과를 정리한 것이다.

<표 1> 국내외 셀 도입시 추진 효과

업 체 명	항 목	개 선 전	개 선 후
D사	작업인원	14명	11명
	생산량	53대/8MH	87/8MH
	재공재고	3일분	1일분
	자재재고 회전율	13회전	24회전
COMPAQ	싸이클 타임	40초	30초
	면적당 생산량	100	200
	1인당 생산량	100	150
	검사방식	검사원 검사	자주 검사
L사	1라인 인원	44명	3명
	생산성	100	187
	생산시간 (LT)	100	33
	재고 손실액	연 500억	연 30억
	이동거리	85M	2m

3. 성공적인 조립셀 설치 및 운영을 위한 핵심 성공요소

3.1 최소 인원으로 구성

셀 라인은 가능한 한 최소 인원으로 셀 편성 하는것을 원칙으로 해야 한다. 이렇게 함으로써 작업 또는 공정의 연결을 부드럽게 하고 프로세스적 낭비를 없애 품질책임을 크게 하며 라인 언바란스를 감소시키는 효과도 극대화 된다. 즉, 셀 라인의 다기능적 작업형태를 통해 단순 반복적인 작업형태를 배제하고 창조적인 작업형태를 지향하는 유연성을 갖추어 나가야 한다.

3.2 작업자와 자재 이송자, 감독자의 역할 재설정

셀 라인 현장에서는 자재 이송자(feeder) 라는 전담자가 있어 작업자의 일부역할, 감독자의 일부역할을 맡아 실시간 상황 인식과 처리를 동시에 처리할수 있어야 한다. <표 2>는 그러한 자재 이송자와 관련자의 역할분담을 구분해서 정리한 도표이다.

3.3 현장 직입(直入) 자재의 선정

셀 라인에서의 자재는 다빈도 소로트로 공급되기 때문에 자재의 품질 문제나 결품 예지 판단을 신속하게 해야한다. 그 때문에 셀 라인으로의 자재공급은 <표 3>에 제시된 것처럼 가능한 한 많은 종류의 자재가 불필요한 여러 단계를 거치지 않고 현장 부품 스토어에 직접 납품되도록 설계해야 한다. 현장 직입 자재는 품질, 금액 등이 별 문제가 되지 않는 부품을 우선 실시 대상으로 시작하여 점차 그 비중을 확대해 나가야 한다.

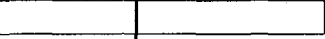
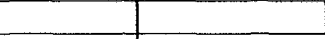
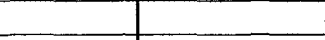

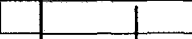
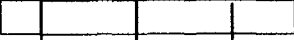
<표 2> 현장 업무의 역할 분담

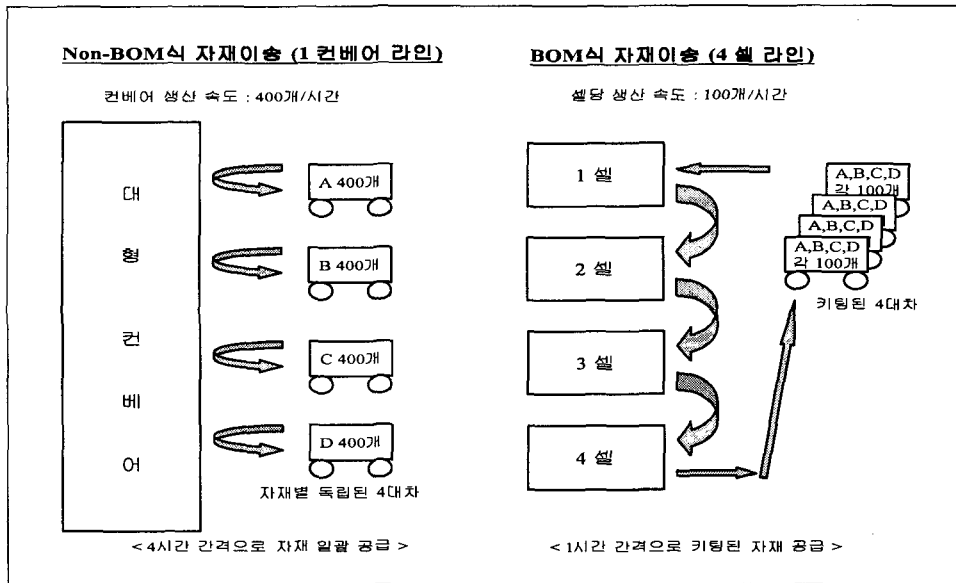
구 분	대형 콘베어	셀 라 인
역 할	<ul style="list-style-type: none"> - 작 업 (단기능) - 자재공급 - 생산속도조정 - 인원조정 - 개 선 (관리자) <p style="text-align: right;">작업자 감독자 (관리자)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 작 업 (다기능) - 자재공급 - 생산속도조정 - 인원조정 - 개 선 <p style="text-align: right;">작업자 자재이송자 감독자 (관리자)</p>

3.4 BOM식 자재공급 방법

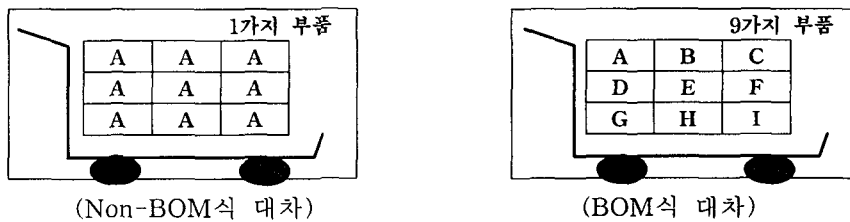
콘베어 라인을 다수의 셀 라인으로 편성은 생산능력을 증대시키지 않음을 가정할 때 한 라인의 피치타입이 길어지고 한 라인당 자재 투입 단위량이 적어지게 한다. 즉 다수의 셀 라인이 생겨 난다면 단위셀 기준으로 볼 때 해당 제품별 부품구성비에 맞추어 다빈도 소로트의 자재 공급(BOM식 이송)을 받는 라인으로 구조적 전환을 해야한다는 것을 의미한다. <그림 1>은 셀 라인에 대한 부품 A, B, C, D의 자재 이송방식을 알기 쉽게 표현한 것으로, 콘베어 라인의 자재이송 운반거리와 셀라인의 자재 운반거리가 비슷한 반면, 자재이송을 준비하는 과정에는 큰 차이가 있게 된다. 즉, <그림 1>의 셀에 대한 자재이송을 위해서는 BOM식 자재이송 대차가 필요하고 자재를 BOM에 맞추어 공급하는 사전 키팅(kitting) 작업이 필수적이다<그림 2>.

<표 3> 자재 납입프로세스의 특징

일반적인 자재공급 상황	셀이 요구하는 자재공급 상황
① 타입(TYPE) 구매  자재  현장 	① 타입  ② 타입  ③ 직입 자재 타입 
- 불필요한 절차가 존재한다. - 가운데 창고가 있어 정보를 가로 막는다. - 1차 결품책임이 자재부서에 있다. - 품질개선을 위한 불량인지가 늦다.	- 불필요한 절차가 생략된다. - 사용자가 공급자에게 바로 조치한다. - 1차 결품책임이 공급업체에 있다. - 불량인 인지시간이 짧다.



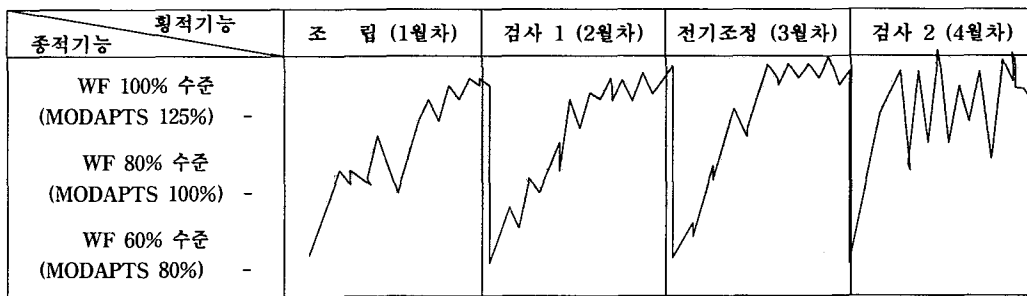
<그림 1> 두 방식간 자재이송 방법의 차이



<그림 2> 두 방식간 대차의 자재 키팅 형태

3.5 작업자 다기능 훈련

셀 라인을 편성함에 있어서 작업자들의 다기능 수행 여부는 매우 중요하다. 이는 단순 반복적인 컨베이어식 조립과는 달리 상대적으로 다양한 작업을 소화해야 하는 셀 라인의 특징 때문이다. 일반적으로 조립기능이라 하면 횡적(다기능) 측면과 종적(숙련도) 측면을 언급할 수 있는데 셀 라인에서 필요한 것은 종적 측면보다 횡적 측면이 더욱 강조되어 진다. 작업자의 기능 구분에 의하면 일반적으로 모답스(MODAPTS) 페이스(Pace) 100% 정도의 숙련도와 약 75% 이상의 다기능(4작업중 3작업)이 가전제품 조립라인에서 일반적으로 요구되어 지는 기능 수준이다. 따라서 모답스 페이스 100% 미만인 숙련도와 두 작업 이하의 조립이 가능한 작업자는 다기능 작업 훈련의 대상이다. <그림 3>은 S 가전회사 조립라인에 있어서의 다기능 훈련 실시 결과 시간 흐름에 따른 숙련도 추이의 예를 횡적기능 측면과 종적기능 측면을 보여 준다.셀라인 도입에 있어서 다기능 작업훈련의 성과여부가셀 라인의 성공적인 정착여부에 대단히 큰 영향을 미치게 된다. 이러한 다기능 훈련은 통상 교육 20%, 훈련 80%의 시간 할애로 실시되는 것이 바람직하다.



<그림 3> 작업자 다기능 훈련 숙련도 평가

3.6 저속도의 적합한 기능을 갖는 설비의 활용

셀 라인의 생산속도는 컨베이어 라인의 생산 속도보다 셀 수 만큼이나 상대적으로 늦어질 수 있는데 이는 다기능적 라인분할과 소수인원 배치에 의한 당연한 결과이다. 즉 피치타임(Pitch Time)이 현저하게 길어지는 것이다. 따라서 셀 라인에서는 저렴하고 저속도의 설비를 선호하게 되고 셀 라인의 작업자는 설비의 MT(Machine Time) 중 타작업을 수행할 수 있는 여유를 갖게 해준다. <표 4>는 S 가전회사의 컨베이어 라인과 셀 라인 검사설비의 요건 및 특징을 정리한 도표이다.

<표 4> S사의 셀 라인 검사설비의 요건 및 특징

구분	컨베이어 라인	셀 라인
1인 사이클 타임	20 초	120 초
계측기 요구 속도	8 초	105 초
계측기(지그) 가격	1000 만원	300 만원
작업 관련	MT에 작업이 묶여 있다.	MT에 대해 작업이 자유롭다.

3.7 작업특성에 맞는 휴식시간 설정

셀 라인의 작업자는 다기능의 작업을 상대적으로 긴 피치타임에 맞추어 수행하기 때문에 작업이 다양해서 지루함이 없기는 하지만 실제 작업 강도는 컨베이어 라인보다 강한

것이 사실이다. 따라서 셀 라인의 휴식시간은 오전 1회, 오후 1회의 경직된 형태보다는 당일 목표수량이 달성되면 작업자들 간의 사전 협의에 의해 필요한 시기에 자유로운 분위기에서 다양한 형태의 휴식을 취하는 유연성이 필요하다.

4. 적정 셀 수 결정을 위한 모델링

셀 라인으로 개선한다는 것은 하나의 대형 콘베어 조립라인을 다수의 라인으로 분할을 한다는 것을 의미한다. 이 과정에서 분할되는 셀 수 만큼의 조립기기, 검사기기, 부대설비, 소모공구, 자재 이송대차 등이 추가적으로 필요하게 되는데 현재 있는 콘베어 라인에서의 1 세트 설비를 감안한다면 셀 수를 n 이라 할 때 $n-1$ 세트의 설비가 추가로 필요하게 된다. 따라서 셀 라인의 도입시 투자비와 효과를 비교하여 적정 셀 수를 결정하는 산술적인 식을 유도해 볼 수 있다. 여기서 제시된 셀 수 결정 모델은 셀 추진 담당자가 기획단계에서 셀 수와 도입효과를 사전에 예측하는 근거자료로 활용하는 것이지 실제 구축단계에서는 회사의 정책, 미래 수요 패턴 변화, 제품 및 라인의 특성을 종합적으로 고려하여 결정되어야 할 것이다.

4.1 모델링을 위한 기본 전제 조건

4.1.1 셀 라인 구축시 투자비용

- (1) 설비투자비 : 셀당 고유설비비 (조립기, 검사기), 셀당 부대설비비 (작업대, 적치대) 및 셀당 소모설비 (전동공구, 리모콘등)의 합으로 표현되고, 그 비용은 셀 숫자에 비례한다.
- (2) 자재공급 비용: 셀당 대차 제작비 및 셀당 자재 키팅 인건비의 합으로 표현되고, 그 비용은 셀 숫자에 비례한다. 동일 생산량의 경우 순회 횟수, 순회거리는 기존 콘베어 라인과 동일하다고 보아도 큰 무리가 없다.

4.1.2 셀 라인 구축시 예상되는 이익

- (1) 재고 감소 : 다수의 셀 라인을 구축하면 셀 수가 증가할수록 소비속도에 맞추는 생산 속도 조절이 가능하여 재고수준이 현격하게 감소하게 된다. 이러한 감소율은 셀수에 반비례적 관계를 갖게 된다.
- (2) 라인 운영로스 감소: 콘베어 라인에서 발생하는 라인 언밸런스과 간섭 트러블은 통상적으로 라인 편성인원 규모와 비례하여 증가하게 된다. 따라서 셀 수가 증가할수록 셀당 편성인원이 줄어들게 되어 라인운영 로스는 현격히 감소하게 된다. 즉, 라인운영 로스는 셀수에 반비례적 관계를 갖게 된다. 일반적으로 라인효율은 작업인원(N), 작업자별 개당 작업시간(T_i), 표준 택타임(TT)으로부터 사전에 결정되는 라인 배런스 효율과 표준 택타임, 실생산량(Q), 실작업시간(WT)으로부터 산정되는 작업효율의 곱으로 결정될 수 있다. 즉, 한 생산제품을 기준으로 할 때

라인효율 = 라인 배런스 효율 × 작업효율

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N \cdot TT} \times \frac{TT \cdot Q}{WT} \\
 &= \frac{\sum_{i=1}^N T_i \cdot Q}{N \cdot WT}
 \end{aligned}$$

로 표현될 수 있고, 라인 운영로스는 “1-라인효율” 로부터 구할 수 있다.

- (3) 판매 기회 손실의 감소 : 현재의 콘베어 라인에서는 최소 생산로트가 규정 되기 때문

에 소량 주문시 취소에 의한 판매 기회 손실 비용이 발생하는 반면, 셀 라인은 소량 주문을 흡수하는 유연성을 갖게 된다. 이러한 유연성은 셀이 많을수록 높아 지게 되므로 기회손실 비용은 셀수와 반비례적 관계를 갖는 것으로 볼 수 있다.

- (4) 생산관리 비용 감소 : 컨베어 라인에서는 한 라인에서 다품종을 생산해내기 때문에 복잡한 생산계획, 생산 우선순위의 결정, 공정 진도관리, 납기관리 등 인원 및 투입공수 이 많이 필요하게 된다. 그러나 셀 라인에서는 셀 수가 증가할수록 셀당 생산품목 이 고정화 되고 영업과 생산현장이 직접 동기화 될 수 있기 때문에 관리부하가 현저 히 감소된다. 즉, 생산관리 인원의 감소효과는 셀수에 반비례적 관계를 갖게 된다.

4.2 기호의 정의

- C_1 : 셀당 설비 투자비
- C_2 : 셀당 자재 공급비
- I : 현재의 재고금액 (컨베어방식)
- i : 재고 관리 비용 비율
- a : 현재의 라인운영 로스 비율
- L : 연간 작업자 총 인건비
- M : 개당 영업이익
- Q : 연간 오더손실 추정 수량
- S : 생산관리자당 연간 평균 인건비
- P : 현재의 생산관리 인원수
- k_j : 각 감소 항목별 효과비율 조정계수
- Y_1 : 재고 감소 효과 [= $I*i - \{1/(n \cdot k_1)\} * I*i$]
- Y_2 : 라인운영 로스 감소 효과 [= $a*L - \{1/(n \cdot k_2)\} * a*L$]
- Y_3 : 판매 기회 손실 감소 효과 [= $M*Q - \{1/(n \cdot k_3)\} * M*Q$]
- Y_4 : 생산관리 감소 효과 [= $S*P - \{1/(n \cdot k_4)\} * S*P$]
- $TE(n)$: 셀수가 n 일때의 투자 이익 (투자효과-투자비용)

여기서 조정계수 k_j 는 셀 라인 편성시 셀 수 증가에 따른 효과 비율정도를 나타내는 계수로 해당회사의 라인 및 제품 특성, 개선의욕과 관리수준, 기타 외적 요소 등 복합적 요인에 의해 차이가 날 수 있다. 이러한 복합요인에 의한 효과 비율을 이론적으로 정확히 예측해 낸다는 것은 실무자에게 어려운 문제일 수 있다. 따라서 실무적으로 적용할 때는 각 감소 항목별로 예상 효과를 정성적으로 추정하여 <표 5>에 제시된 5수준 평가법을 활용하도록 추천한다. 여기서 $k_j=1$ 일 경우는 해당 항목의 감소 효과가 셀 수에 완전 반비례 하는 것을 나타낸다.

<표 5> 조정계수 설정을 위한 5수준 평가표

평가수준 계수치	I 수준 (비관)	II수준 (저조)	III 수준 (평균)	IV수준 (낙관)	V수준 (매우낙관)
k_j	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5

4.3 산출식의 결정

결정될 셀수가 “n” 일때의 투자이익의 산정식 TE(n)은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 TE(n) &= [(Y_1+Y_2+Y_3+Y_4) - (C_1+C_2) \cdot (n-1)] \\
 &= [(I \cdot i + \alpha \cdot L + M \cdot Q + S \cdot P) - (I \cdot i / k_1 + \alpha \cdot L / k_2 + M \cdot Q / k_3 + S \cdot P / k_4) / n] \\
 &\quad - [(C_1 + C_2) \cdot (n-1)] \\
 &= B - A/n - C \cdot (n-1)
 \end{aligned}$$

여기서 $B = I \cdot i + \alpha \cdot L + M \cdot Q + S \cdot P$

$A = I \cdot i / k_1 + \alpha \cdot L / k_2 + M \cdot Q / k_3 + S \cdot P / k_4$

$C = C_1 + C_2$

따라서, $\frac{\partial TE(n)}{\partial n} = 0$ 이 되는 n 값이 최적 셀 수를 나타낸다.

그러므로 $\frac{\partial TE(n)}{\partial n} = \frac{A}{n^2} - C = 0$ 으로부터

$$n^* = \sqrt{\frac{A}{C}} \text{가 된다.} \text{-----(3.2)}$$

따라서, 적정 셀 수 n* 가 정수(Integer)일 경우에는 $n^* = \sqrt{\frac{A}{C}}$ 에서 투자이익의 최대값을 가진다. 그러나 적정 셀 수 n* 가 non-integer 일 경우에는, TE(n) 가 monotonous convex fuction 이므로 n= integer(n) 일때의 TE(n) 값과 n= integer(n)+1 일때의 TE(n) 값 중 큰 값을 갖는 n 값이 최적 셀수임을 알 수 있다.

5. 셀 생산 시스템 구축 사례

이 장에서는 통신용 전자제품을 조립생산하는 국내 D사에서 셀 도입 시범라인으로 CCTV를 선정하여 컨베어 라인을 셀라인으로 개선한 사례를 실제 지도한 내용을 토대로 정리한 것이다.

5.1 대상라인의 문제점

(1) 부가가치 낮은 라인 효율

본 라인에서는 라인 효율은 약 42% 정도의 수준이었는데, 이는 작업자별 부하불균형 (라인 언바란스), 많은 작업자들의 비부가가치 작업, 재작업 및 반복적 운반과 체계적인 공정의 진행관리가 표준화 되어 있지 않은 것이 주요한 원인이었다. 또한, 공정의 진행상 트러블은 다품종 소량화 되어 있는 영업오더의 영향과 그것을 소화하지 못하는 조악한 자재 및 구매/외주관리가 서로 동반악화의 현상을 발생시키고 있었다.

(2) 부품단위의 자재이송

자재가 제품별 구성단위로 현장에 세트공급 (BOM식 자재공급) 되지 않고 단품기준으로 현장에 공급되어 공정관리의 대상 숫자는 끝없이 증가되고 있었으며 그 영향으로 품질문제까지 발생하여 재작업은 날로 증가되고 빈번한 결품때문에 날로 원자재 재고는 증가하여 결국 원자재 재고 회전율이 연간 3회전 미만으로 떨어졌다.

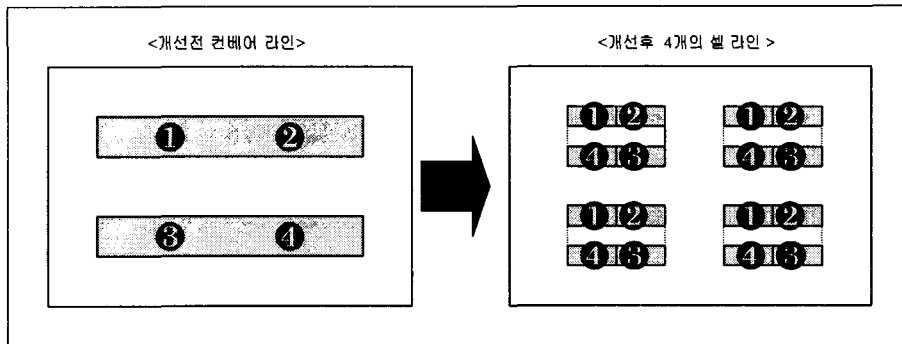
5.2 셀생산 시스템의 추진

이 회사는 앞서 언급한 생산라인의 낭비가 심각한 관계로 이러한 고질적인 라인의 문제점을 근원적으로 해결하기 위해 컨베어 중심의 CCTV라인을 셀 라인으로 재편성하기로 결정하였다. 먼저 셀 추진팀은 셀 라인 설치 및 운영에 있어 설비배치 형태, 자재투입

방법, 숙련도 및 다기능을 향상의 세가지 추진 과제중에서 셀 라인 구축이 성공적으로 정착하기 위해서는 숙련도 및 다기능을 향상이 가장 큰 중요한 과제라고 인식하게 되었다. 이에 여러 가지 훈련방식을 검토한 결과 모토로라 사의 PQM Skill-Up System과 도요다 자동차 사의 다기능 훈련 시스템을 통합한 다기능 및 숙련도 향상 프로그램을 독창적으로 구상하여 이를 3개월간 순차적으로 시범라인 전 작업자에게 실시하였다. <표 6>는 다기능 및 숙련도 향상 프로그램의 과정을 보여주는 기능 관리표의 한 예이다. 상기와 같은 훈련방식을 토대로 <그림 4>와 같이 4개의 U자형 셀 라인을 설치하여 한 작업자가 셀 안에서 이동하면서 다기능 작업을 수행하고 전담 자재 운반자로 하여금 BOM식 키팅방식에 의해 자재투입을 담당하도록 한 결과 <표 7>과 같은 목표 이상의 효과를 얻게 되었다.

<표 6> 다기능 및 숙련도 향상 훈련 과정을 보여주는 관리표의 예

ABC 생산팀		ABC 제품 공정마스터 관리표		일련번호		
성명				작성	김돈기	
이순자		●지도 받아야 할 수 있음. ●●견본이 있으면 혼자 함. ●●●혼자서 할 수 있음. ●●●●이상처리가 가능함. ●●●●●작업지도도 할 수 있음.		기능 마스터 이력서		
입사년월일:				● 97년 4월 10일 92점		
코드번호:				○ 년 월 일 점		
사진				○ 년 월 일 점		
		NO	가중	공정 또는 기능	기능정도	기능훈련과정
		A1		조립(P/PCB,T/PCB조립)	●●●●●●	
		A2		조립(DECK 조립)	●●●●●●	
교육과목		A3	10	조립(T/COVER 조립)	●●●●●●	
평가		A4		조립(F/PANEL)	●●●●●●	
인성교육		A5		CONNECTOR 삽입	●●●●●●	
모션마인		A6		SCREW 체결, LABEL류 부착	●●●●●●	
기초조립					●●●●●●	
중요공정					●●●●●●	
현재업무		소계		16점	←[● × (20/20)=()]	
		합계		92.1점		



범례: ❶(보드검사), ❷(조정), ❸(CASING), ❹(외관및포장)

<그림 4> 개선 전후 셀 라인 레이아웃의 비교

<표 7> D사 시범라인의 셀 시스템 도입 전, 후 효과 비교

항 목	개 선 전	개 선 후
생산 직접인원	30명	19명
인당 생산성	666개/년	1342개/년
평균 재고금액	20억	12억
라인 운영ロス	58%	27%
오더 손실량	15000개/년	5700개/년
생산 관리자	6명	4명

6. 결 론

본 연구는 셀 시스템 구축의 필요조건(특징)과 성공적인 추진절차에 초점을 맞추어 기술하였다. 이 방법론은 현재도 현업에 계속 적용하면서 보다 구체적이고 시행착오를 줄일 수 있는 셀 구축시스템으로 보완중에 있기 때문에 향후 조립셀 구축에 좋은 추진 노하우가 될것으로 생각한다.

또한 셀 수결정을 위한 산출식은 현업에서 쉽게 적용할 수 있게 모델링한 것으로 설정된 가정과 상관관계가 옳다면 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대한다. 셀라인 구성에 따른 투자이익을 유도해내는 과정에서 현장개선 경험을 토대로 모델링한 나머지 충분한 논리적 근거를 제시하지 못한 점을 인정하지 않을 수 없다. 특히 감소효과 비율을 추정시 5수준 평가법에 반론을 제기할 수도 있을 것이다. 그러나 기업에서 셀라인 도입 효과를 예측하고 도입 여부를 결정하고자 할 때 쉽게 적용될 수 있어야 한다는 욕심이 앞섰기 때문이다. 사실 셀시스템 구축시 셀 수의 결정문제는 전체 추진과제중 일부분의 문제이고 라인 배치 단계에서 자연스럽게 결정될 수 있음도 고려하였다.

끝으로 본 연구과제가 미력하나마 셀시스템 도입을 검토하거나 아직 정착되지 못한 국내 전자조립 업체에 실무적인 도움을 줄 수 있는 계기가 되었으면 한다.

참고문헌

- [1] 한국생산성본부, 한국경제신문, Cell 생산시스템 세미나자료.한국생산성본부(96/9)
- [2] 한국생산성본부, 정원 적정화를 위한 오드릭스의 실시.1987
- [3] 佐藤良明, 한국능률협회컨설팅, 공장내 물류 개선의 포인트.1988
- [4] 한국생산성본부,최신 물류관리 매뉴얼.1988
- [5] 한국능률협회컨설팅, IE발표대회 발표집(대우전자).1996
- [6] 송상재/최정희, “유연한 셀생산을 위한 최적가공 경로와 생산조건의 결정”, 대한산업공학회지 VOL 18. 1992
- [7] 김진용,“경제적인 기계셀 및 부품군형성 알고리즘”,공업경영학회지 제16권. 1993
- [8] 문치용/이상용,“유연생산시스템에서의 셀및 부품군 형성 알고리즘”, 대한산업공학회지 VOL 18. 1992
- [9] 양정문/문기주/김정자,“정수계획법에 의한 셀제조시스템에서의 부품-기계군 형성”,한국공업경영학회지 VOL 19. 1996
- [10] 최형호/노인규,한양대 산업공학,“셀형 유연조립시스템에서의 셀배치설계”,공업경영학회지 제19권.1996