

< 논문 >

생산 흐름 분석을 통한 FAS라인의 최적 배치 설계에 관한 연구

가춘식* · 장봉춘** · 엄용균†
(2004년 5월 21일 접수, 2004년 11월 18일 심사완료)

A Study on Optimized Layout Design of FAS Line Through Production Flow Analysis

Chun Sik Ga, Bong-Choon Jang and Yong-Gyun Eom

Key Words: Optimized Layout(최적 배치), Flexible Automation Subassembly(FAS;유연 자동화 소조립), Flexible Manufacturing System(FMS;유연 생산 시스템)

Abstract

Many mid-sized companies in Korean automotive industry have attempted to solve the lack of human power, to control the quality of components, to improve the production rate, and to innovate the manufacturing line. The goals of this study are to analyze the production rate of an automotive component manufacturing line using simulation software, to construct a Flexible Automation Subassembly (FAS) system and to suggest an optimized layout design using FAS line. In this research, the simulation model for manufacturing line was developed and used the realistic data of a medium sized company in Korean automotive industry. To complete this research, a simulation software 'ARENA' was used. This research analyzed the work distribution strategy and cycle time element for production flow and proposed an optimized layout to resolve line balancing problem which would bring the improved production rate.

1. 서 론

기업 내부적으로는 품질 개선, 원가 상승, 임금 인상 등의 문제에 대처하고 기업 외부적으로는 소비자의 다양한 욕구로 인한 제품 수명의 단축과 글로벌 경쟁 체제에 적절히 대응하기 위해서 FMS (Flexible Manufacturing System) 또는 CIM(Computer Integrated Manufacturing)과 같은 개념의 생산 시스템이 생산 현장에 점차 도입되고 있다.⁽¹⁾

그러나 이러한 새로운 생산 시스템을 현장에서 효과적으로 활용하기 위해서는 아주 복잡하고 통

합된 형태를 갖는 생산 시스템의 정량적인 분석 및 예측이 가능해야 한다.⁽²⁾

이러한 시스템의 분석과 평가를 위해 실제의 시스템을 구축하거나, 이미 구축된 시스템을 변경하는 일은 현실적으로 어려운 경우가 많다.

그래서 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 가상 생산 모형은 신제품 생산에 따른 공정 계획수립과 생산 준비 및 생산 계획 수립 등 여러 부문에서 계획과 의사 결정에 소요되는 비용과 시간을 최소화하고⁽³⁾ 새로운 생산 라인을 설치하고 운영하기 전에 타당성 조사 및 대안의 비교 평가가 가능하여 투자에 따른 위험을 줄일 수 있는 도구로 사용된다.^(4,5)

생산 시스템이 더욱 대형화되고 복잡해짐에 따라 수리적 기법으로는 분석이 더욱 어려워지고 동시에 시뮬레이션을 위한 소프트웨어가 지속적으로 개발됨에 따라 이러한 시스템의 분석을 위한 강력한 도구로써 시뮬레이션의 이용은 급속히

* 회원, 안동대학교 대학원 기계공학부
** 회원, 안동대학교 기계공학부
† 책임저자, 회원, 안동대학교 기계공학부
E-mail : ykeom@andong.ac.kr
TEL : (054)820-5496 FAX : (054)823-5495

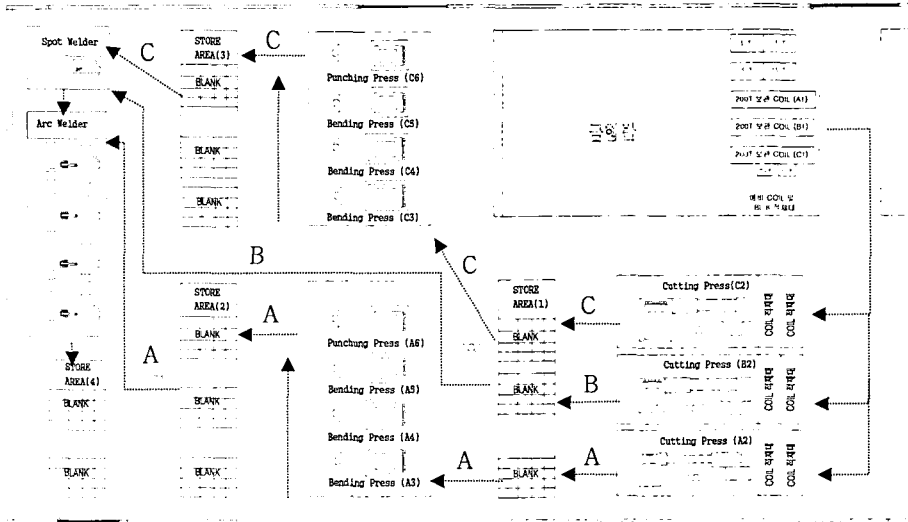


Fig. 1 Production system layout(parts process →)

증가하고 있다.⁽⁶⁾

특히, 수리적 기법으로는 모델링하기 힘든 생산 시스템에 대한 동적 특성의 모델링은 물론 해석적으로 해결할 수 없는 확장적인 문제에서 Monte-Carlo 샘플링 기법을 이용하여 생산 시스템 분석 및 공학적 문제 해결에 응용하고 있다.^(7,8)

자동차는 2만 여개의 부품으로 조립됨으로 자동차 산업은 하청업체가 중요한 역할을 담당한다. 그러나 이러한 하청업체들은 규모가 영세할 뿐만 아니라 원청업체의 수요 변동은 하청업체의 납품량 변동으로 이어져 경제적 약자인 하청업체가 수요 변동의 충격을 담당하며 생산이 불안정할 수 있다.⁽⁹⁾ 그러므로 이러한 불리한 조건하에서 스스로 안정적인 생산을 유지하면서 신속하게 주문에 맞춰 생산해야 하며 적정한 재고를 유지하도록 생산 시스템을 구축하여야 하는 어려움을 겪고 있다.^(10,11)

본 연구는 이런 문제를 해결하기 위해서 자동차 부품 하청업체의 전체 생산 라인 중에서 일부를 대상으로 하여 유연성 있게 부분적으로 유연성 자동화 소조립 라인(FAS Line)의 구축을 제안한다.

그리고 자동차 부품 생산 라인을 대상으로 기존 생산 시스템에 대하여 System Modeling社의 컴퓨터 시뮬레이션 툴인 ARENA⁽⁵⁾를 사용하여 문제점을 파악하고 최적의 대안을 찾고자 한다.

이를 통하여 기존 라인의 문제점을 해결하고

작업 효율을 극대화하면서 생산성을 향상시켰다.

2. 현 생산시스템 시뮬레이션

2.1 시스템 구성 및 생산 흐름

본 연구에서 대상으로 하는 자동차 부품 생산을 위한 프레스 및 용접 공정은 Fig. 1에서 제시된 바와 같이 프레스기 11대, 아크 용접기 4대, 스폿용접기 1대가 작업에 배치되어 있고 각각의 기계마다 1명의 작업자와 작업장 사이의 부품 운반을 위한 작업자 1명을 합해 총 17명의 작업자가 있다. 생산 흐름은 부품들(Cup, Disk Plate, Cup Support ; A1, B1, C1)의 원자재인 롤 강판이 프레스 절단기(A2, B2, C2)에 의해 2차원 가공되고 그 중에서 Cup과 Cup Support는 금형 프레스기(A3, A4, A5, C3, C4, C5)에 의해 3차원 형상을 이루고 편칭 가공(A6, C6)에 의해 컵 형상의 중앙에 홀을 만든다. 또한 프레스 절단된 Disk Plate(B2)는 금형 작업이 끝난 Cup(C6)과 스폿용접에 의해 조립된다. 스폿용접에 의해 조립된 Cup(B2+C6)은 금형 작업이 끝난 Cup Support(A6)와 아크 용접이 이루어져 결합되어진다. 본 연구에서 대상으로 하고 있는 가공품의 주요 공정의 흐름은 Fig. 2와 같다. Fig. 3은 각종 프레스 가공 기계와 스폿 용접기 및 아크 용접기에 의해 각 공정별 작업을 사진으로 제시하고 가공 기계로부터 생산되는 중간품의 형태를 도시하고 있다.

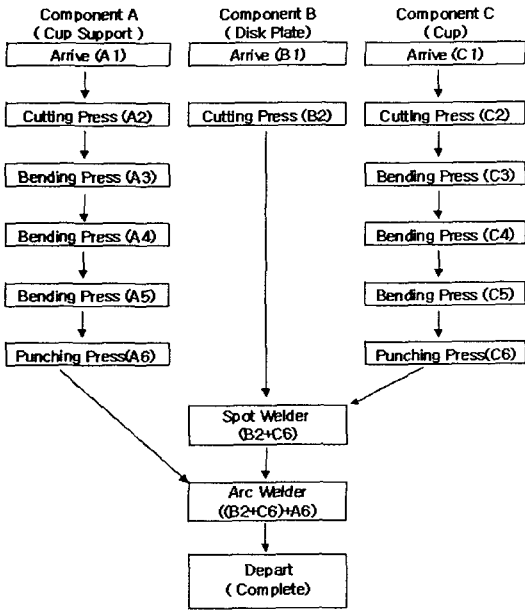


Fig. 2 Process flowchart

2.2 시뮬레이션 조건

시뮬레이션 수행시 고려되는 전제 조건은 다음과 같다.

조건 1 : 본 연구에서 설계하고자 하는 생산 시스템 모델은 24시간 가동을 목표로 하고 있다. 따라서 기계는 24시간 사용이 가능하며 작업자는 평일 8시간 토요일 4시간으로 주당 48시간의 작업이 가능하며 그 외의 시간에는 잔업이 가능하다.

조건 2 : 시뮬레이션에 사용된 데이터 중 일부는 현재 사용되고 있는 실제 기계가 가공하는 시간을 실제 스톱워치를 가지고 측정하였으며 그 데이터의 신뢰성은 적합도 검정(Fitness Test)을 통해 신뢰도를 확보하였다. 부품 A의 아크 용접 공정의 사이클 타임에 대해 500개의 데이터를 추출하여 여러 가지 함수의 모형에 적용시켜 보았다.^(4,5) 본 연구에서 사용된 확률밀도함수들은 아래의 식 (1) ~ 식 (3)에 제시하였다.

(A) Normal function

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

μ ; 평균, σ ; 표준 편차

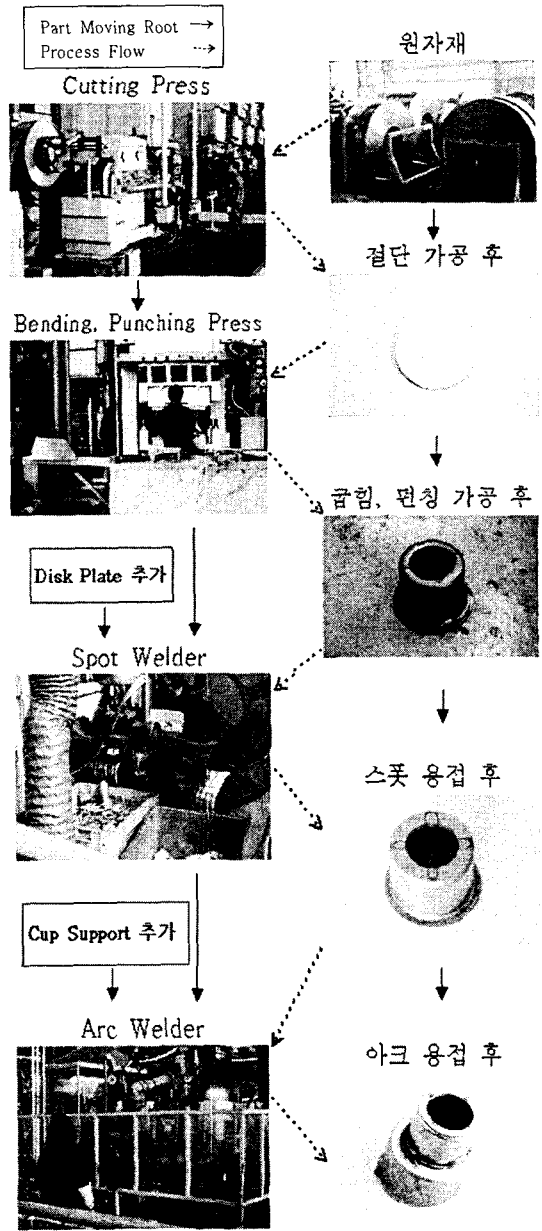


Fig. 3 Manufacturing plant process and production completion flow

(B) Beta function

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1}(1-x)^{\alpha-1}}{B(\beta, \alpha)} \quad (2)$$

여기서,

$$B(\beta, \alpha) = \int_0^1 t^{\beta-1}(1-t)^{\alpha-1} dt$$

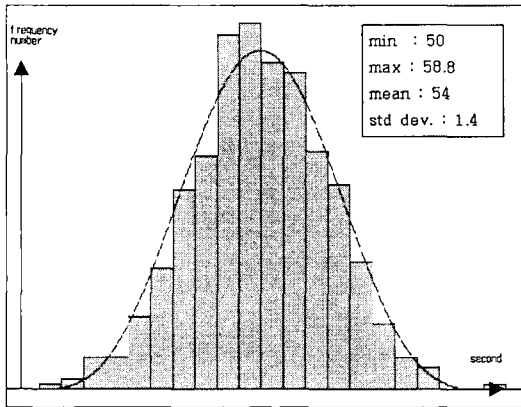


Fig. 4 Normal distribution function of arc welding processor

(C) Gamma function

$$f(x) = \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\Gamma(\alpha)} \quad (3)$$

여기서,

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

이 중에 가장 적합하다고 할 수 있는 정규 확률 밀도함수로 선택하였다. Fig. 4는 추출한 데이터의 도수분포표와 이 공정에 적용시킨 정규 확률 분포 함수를 도식적으로 표현한 것이다. 여기서, 공정 시간의 최소치는 50초, 최대치는 58.8초이고 평균은 54초이다. 그리고 표준 편차는 1.4이다.

여러 확률밀도함수에 대해서 Chi-square 적합도 검정을 실행한 결과이다.

그 결과 normal(54,1.4)가 Square error가 가장 적고 유의 수준 99%안에서 신뢰할 수 있으므로 Beta함수보다도 더 적합하다고 할 수 있으며 Gamma 함수는 부적합하다고 판정할 수 있다.

다른 샘플링 된 데이터에 대해서도 동일한 방법을 적용하였다. 그 외에는 생산 계획자료, 표준 작업 시간 그리고 작업자 가공 규칙 등과 같은 회사의 해당 부서에서 제시한 관련 자료를 이용하여 작성하였다. 또한, 가공 부품의 공정별 모의 실험 조건은 Table 1에 나타나 있다.

여기서 스폿용접과 아크 용접 과정은 작업자와 기계의 관점에서 각각 유평시간과 동작시간 등을 측정된 결과 스폿용접 작업시 기계의 동작 시간은 NORM(1.234, 0.0234)이다. 이는 전체 약 5초의

Table 1 Processing data for current line

Description	Process Time	Route time
Bending Press (C3)	NORM(18.1,0.7)	1.2
Bending Press (C4)	NORM(18.5,0.5)	1.2
Bending Press (C5)	NORM(19.1,1.2)	1.2
Punching Press (C6)	NORM(18.3,0.8)	2.0
Bending Press (A3)	NORM(18.1,0.6)	1.2
Bending Press (A4)	NORM(19.0,0.8)	1.2
Bending Press (A5)	NORM(18.7,1.0)	1.2
Punching Press (A6)	NORM(18.2,1.1)	2.0
Spot Welder	NORM(5.0,0.7)	2.3
Arc Welder	NORM(26.4,0.35)	2.2

작업 중 대부분이 작업자의 자재 취급 작업에 소요됨을 알 수 있다. 또한 아크용접 작업 시 기계의 동작 시간은 NORM(15.893, 0.1547)으로써 기계의 비 가동 시간의 비중이 매우 높음을 알 수 있었다.

조건 3 : 제품 불량, 설비 고장, 자재 품질 현상 등으로 인한 설비 가동 시간의 지연이나 재작업 등의 요인은 가공 시간에 포함되지 않았다.

조건 4 : 원자재의 도착(A1, B1, C1)과 Cutting Press에서의 작업(A2, B2, C2)은 연속 공정으로서 이 후 공정의 흐름에 영향을 주지 않는 이산 공정으로 가정하였다.

2.3 결과 분석

시뮬레이션은 제조 시스템의 특성을 효과적으로 표현할 수 있는 시뮬레이션 전용 소프트웨어인 ARENA를 이용하여 수행하였으며 수행시간은 1시간(3600 초)으로 10회 반복 실시하였다.

Table 1는 현 상태의 가공 조건이며 Table 3은 시뮬레이션 결과로써 생산량 및 대기 행렬의 길이, 가동률 등을 보여주고 있으며 이는 실제 생산 현장에서 제시한 데이터와 거의 일치하며 이는 시뮬레이션의 신뢰성을 보장한다.

시뮬레이션 결과를 보면 시간당 평균 510개를 생산하고 있다. 일련의 굽힘 프레스 공정의 공정 시간을 비교해 보면 큰 차이가 없다. 그러나 대기행렬의 길이에서 많은 차이가 나는 것은 대기상태가 계속 누적되기 때문이다. 이는 대기 공간의 부족이나 작업자의 태만으로 이어질 수 있어 개선이 요구된다.

다른 공정에 비해 스폿 용접 공정에서 가동률

Table 2 Simulation results for current line

Description	Utilization	Average Queue No.	Maximum Queue No.
Bending Press (C3)	0.98871	0.37883	1
Bending Press (C4)	0.98404	2.0305	5
Bending Press (C5)	0.97842	3.4195	7
Punching Press (C6)	0.92135	0.00414	1
Bending Press (A3)	0.95921	0.0255	1
Bending Press (A4)	0.98944	5.0653	11
Bending Press (A5)	0.8807	0.0036	1
Punching Press (A6)	0.93591	0.0311	1
Spot Welder	0.52946	0.7355	1
Arc Welder	0.97288	24.021	51
Total	0.91	3.57	8.00

이 낮은 것은 가공 시간이 다른 공정에 비해 짧기 때문이며 유티 시간이 증가하여 다른 공정 작업자의 업무 불만을 야기할 수 있다. 또한, 다른 공정에 비해 아크 용접의 공정 시간이 길어 4 곳에서 작업이 이루어짐에도 불구하고 대기수가 큼을 볼 수 있다.

이는 충분한 대기 공간을 갖지 못할 경우 재고 재고(Work-in-Process)의 증가로 비효율적인 구조이다. 이러한 문제는 특히, Table 2의 결과에서 보여지 듯 스폿 용접 공정에서의 가동률이 52.946% 밖에 미치지 못한다는 점을 감안할 때 이 공정에서 자재 취급을 위한 자동화기기를 도입하여 공정 시간을 단축시킬 필요가 있다.

이를 위해 전용 4축 Material Handling Machine을 도입하여 FAS 라인에 적용할 경우 장비의 가동률을 높이고 생산성도 향상될 것으로 기대된다. 그래서 다음 장에는 개선된 FAS라인을 제안하였고 이를 기존 생산라인과 비교 고찰하였다.

3. FAS라인의 최적 배치 설계

개선된 FAS라인의 경우 대기 시간을 줄이기 위한 전략으로 작업 분배의 원칙 중에 선착순(first-come-first serve)규칙과 최소처리시간(Shortest processing time)규칙을 적용하여 작업장과 작업자를 재배치하였으며 또한, 각각의 작업장에 대해서 사이클 타임 중에 유티시간과 작업시간 재워치 시간의 구성 요소들을 관찰하여 병목 작업장을 결정하고 이를 반복적으로 시뮬레이션 하여 라인 밸런싱 문제를 해결하였다.

Table 3 Processing data for improved FAS line

Description	Process Time	Route time
Bending Press (C3)	NORM(18.1,0.7)	1.2
Bending Press (C4)	NORM(18.3,0.8)	1.2
Bending Press (C5)	NORM(18.5,0.5)	1.2
Punching Press (C6)	NORM(19.1,1.2)	1.2
Bending Press (A3)	NORM(18.1,0.6)	1.2
Bending Press (A4)	NORM(18.2,1.1)	1.2
Bending Press (A5)	NORM(18.5,0.8)	1.2
Punching Press (A6)	NORM(18.7,1.0)	1.2
Spot Welder	NORM(5.0,0.7)	1.5
Arc Welder	NORM(15.8, 0.15)	1.5

Table 4 Simulation results for improved FAS line

Description	Utilization	Average Queue No.	Maximum Queue No.
Bending Press (C3)	0.98944	0.26816	1
Bending Press (C4)	0.98404	1.8682	3
Bending Press (C5)	0.97605	0.45187	2
Punching Press (C6)	0.97143	3.1842	6
Bending Press (A3)	0.98791	0.47226	2
Bending Press (A4)	0.98379	1.6233	3
Bending Press (A5)	0.973647	0.0036	1
Punching Press (A6)	0.997212	1.0326	3
Spot Welder	0.979529	0.07602	1
Arc Welder	0.82536	0	0
Total	0.97	0.90	2.20

제안하고자 하는 최적의 FAS라인의 경우는 원청 업체의 납품 요구량을 반드시 적시에 충족하여야 한다는 것을 가장 중요한 요인으로 인식하여 여러 가지 배치 계획 중 단위 시간당 생산량과 리드 타임이 가장 빠른 방법을 선택하였다.

또한 하청업체의 경우 공간이 협소함으로 적정 재고량만을 유지하도록 하였다. 적정 재고량만을 유지함으로써 불필요한 저장 공간이 제거되고 부품의 흐름이 원활해져서 경로 이동 시간이 단축되었다. 또한, 기존의 생산라인에서 아크 용접 공정의 자재 취급 작업을 4축 Material Handling Machine으로 대체함으로써 아크 용접 로봇의 비가동 시간을 제거하여 공정 시간을 단축하였다. 또한 급히 가공 공정의 작업자를 처리 시간이 빠른 숙련된 작업자를 앞 공정에 순서대로 배치하였다. 이를 토대로 Table 3와 같은 가공 조건을

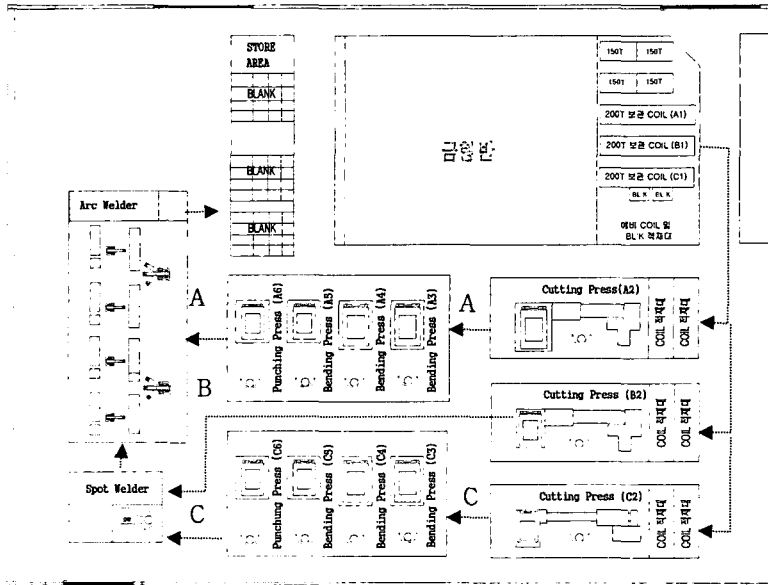


Fig. 5 Improved FAS line layout(parts process →)

가지고 시뮬레이션을 실시하였다.

그 결과는 Table 4와 같으며 개선된 FAS라인의 경우, 시간 당 생산량이 563개로 기존의 경우보다 약 10.9% 생산성이 증가하였고 이는 경제적 측면에서 Material Handling Machine을 이용한 생산 방식이 기존의 수작업에 비해서 상대적으로 변동비가 적으므로 생산량이 많아질수록 비용이 적게 들고 이익이 증대된다. 이는 작업자와 장비를 재배치한 결과로써 대기 행렬의 길이가 평균 3.53개에서 0.9개로 390%줄었고 최대 대기수로는 8개에서 2.2개로 364% 획기적으로 감소함을 볼 수 있었다.

그러나 아크 용접 로봇의 가동률 측면에서 82.53%로 감소하였다. 그래서 아크 용접 로봇을 3대로 줄인 결과 시간당 생산량은 529개, 아크 용접 장비의 가동률은 82.957% 평균 대기수 0.065가 된다. 또한, 아크 용접 로봇을 2대로 줄이고 Material Handling Machine을 한대만 사용하면 아크 용접 공정의 평균 대기수 53.383개, 최대 대기수는 118개이고 가동률은 95.5%이다.

그러므로 Material Handling Machine을 도입한 아크 용접 라인에 무인화 된 라인이므로 기계가 24시간 가동이 가능하다는 장점을 활용한다면 아크 용접 공정에 용접 로봇 2대와 Material

Handling Machine 1대만 도입하더라도 생산능력을 증대하면서 아크 용접 로봇을 4대 운용할 경우와 동일한 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 최적화된 FAS라인의 배치도로서 불필요한 저장 공간과 이동 경로가 제거됨으로써 작업장의 면적이 약 25% 이상 감소하여 공간 효율성이 증대되었음을 보여주고 있다. Fig. 6은 제안된 FAS 라인의 ARENA 시뮬레이션을 도시한 것이다.

4. 결론

작업 분배의 원칙과 라인 밸런싱 문제 해결을 위한 사이클 타임 요소를 분석하여 라인의 문제점을 도출하고 이를 우선순위를 정해 반복적으로 시뮬레이션 해 봄으로써 가능한 최선의 배치 계획을 세울 수 있었으며 이를 통해 생산성의 향상을 가져올 수 있었다. 또한, 가능한 여러 대안 중에 FMS에 가장 적절한 배치 계획을 찾을 수 있었다.

하청업체의 특성상 전 공정이 FMS로 운영되지 못하므로 전용생산라인과 유연 생산라인을 적절히 혼합하여 상황에 맞게 설계되어야 한다는 측면에서 본 연구는 실제 자동차 부품 제조업체의

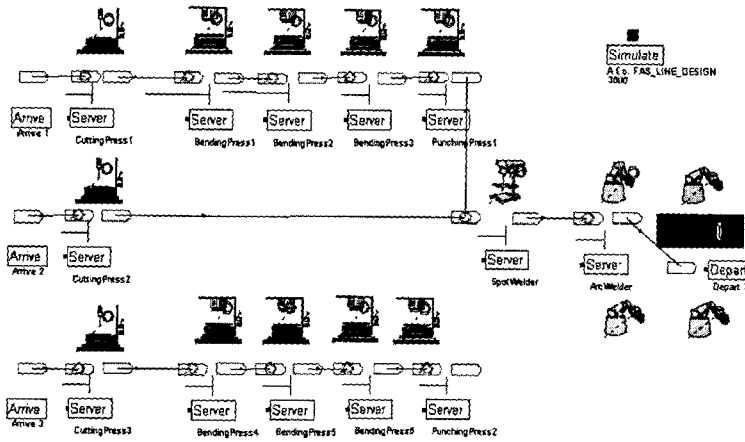


Fig. 6 The simulation of the improved FAS line

생산 라인 일부를 대상으로 연구가 이루어졌으며 새로운 FAS라인의 구축 여부를 결정하기 위한 중요한 의사 결정의 토대가 되었다.

현재는 하나의 생산 라인에 대해서만 시뮬레이션을 수행하였지만 이를 공장 전체로 확대하여 연구를 수행해 보는 것이 앞으로의 과제이다.

후 기

본 연구는 지역전략사업 석박사 연구인력 양성 사업의 일부로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Yim, S. J. and Lee, D. Y., 1998, "Scheduling of flexible Manufacturing Systems with the Consideration of Tool Set-up Times," *Transactions of the KSME, A*, pp. 90~101.
- (2) Groover M. P., 2001, *Automation, Production systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, Prentice Hall, pp. 24~60.
- (3) Noh, S. D., Lee, K. I., Sohn, C. Y., Hahn, H. S. and Park, Y. J., 2001, "Construction and Application of the Virtual Automotive Plant for a Virtual Manufacturing," *Transactions of the KSME, A*, Vol. 25, No. 10, pp. 1627~1635.
- (4) Seila, A. F., Ceric, V. and Tadikamalla, P., 2003,

Applied Simulation Modeling, Thomson Brooks Cole, pp. 76~116.

- (5) Kelton, W. D., Sadowski, R. P. and Sadowski, D. A., 1998, *Simulation with Arena*, McGraw-Hill, pp. 85~146.
- (6) Yun, Y. S., Seo, S. L. and Lee, S. C., 2000, "Productivity Analysis of a Car Parts Assembly Line Using a 3D Simulation Tool," *Journal of the KIPE*, Vol. 5, No. 1, pp. 5~13.
- (7) Sadowski, R. P. and Shannon, R. E., 1995, *Introduction to Simulation using SIMAN*, McGraw-Hill, pp. 124~156.
- (8) Ahn, J. J., Kwon, J. D. and Kim, S. T., 1996, "Fatigue Life Prediction of SiC_w/Al Composites by the Monte-Carlo Simulation," *Transactions of the KSME, A*, Vol. 20, No. 5, pp. 1552~1561.
- (9) So, Y. S., Jeong, B. H., Heo, E. Y. and Y. H., Kim, J. S., 1996, "Development of Production Information System for An Auto-parts Industry," *Journal of the KIIE*, pp. 159~171.
- (10) Ree, S. B., Kim, K. and Ahn, H. I., 1996, "Manufacturing Management of Toyota Motor Factory," *Journal of the KIIE*, Vol.5, No.2, pp. 95~104.
- (11) Kim, J.O., Sin, J. and Kim, S.H., 1996, "Development of Robotic Welding System for Sub-assembly Line in Ship Manufacturing," *Transactions of the KSME, A*, pp. 905~909.