

시뮬레이션방법을 이용한 자동차엔진 생산설비계획 A Study on the Engine Manufacturing Facility Performance Analysis Using Simulator

황 홍 석* , 조 규 성*
Heung Suk Hwang*, Gyu Sung Cho*

* 동의대학교 정보산업공학과

Abstract

본 연구는 시뮬레이션방법을 이용한 실린더 헤드 라인 생산설비의 적정 계획 및 성능산정 연구이다. 생산설비의 적정 계획 및 성능산정을 위해 가용한 생산설비의 자료들로부터 요구되는 생산능력을 만족하는 생산설비를 구성한다. 구성된 설비들은 가용한 생산 설비 운영 조건을 고려한 가상의 시뮬레이션 모델로 구축하여 생산설비의 적정 구성에 따른 헤드라인의 설비가동률, 설비의 생산능력 및 공정간의 재고 등을 산정한다. 시스템 성능산정을 위해 본 연구에서는 AutoMod 시뮬레이터를 이용하여 실린더 헤드라인의 생산설비계획 문제에 적용한다.

본 연구는 다수의 생산 설비를 이용한 설비계획 연구시 사전 분석과 능력산정 및 기존의 설비 운영 조건에 따른 생산능력산정에 유용하게 응용할 수 있으며 3차원 동영상으로 분석결과를 제시할 수 있다.

Keyword : 3-D Simulation, Facility Planning, System Performance Evaluation

1. 서론

본 연구는 실린더 헤드라인공정설계를 위하여 시뮬레이션 툴인 AutoMod를 사용하여 요구되는 생산 능력을 만족하는 시스템의 구성 및 성능을 산정 하는 연구이다. 이를 위해 본 연구에서는 2 단계 접근 방법을 사용한다. 단계 1에서는 RAM을 고려하지 않은 CQN(Closed Queueing Network)방법을 사용하여 요구되는 시스템성능을 만족하는 초기시스템을 구성한다. 단계 2에서는 AutoMod를 이용한 시뮬레이션 방법을 사용하여 단계 1에서 구한 초기시스템으로부터 실제 가공공정에서 고려해야 할 환경에 맞는 시스템 개선과정을 제시한다.

본 연구에서 제시하는 2단계 시스템적 접근 연구방법은 주어진 실린더 헤드라인에서 요구하는 목표 생산량을 만족하는 시스템 설계가 가능하므로 초기 설비계획에 매우 유용하다. 본 연구에서 제시하는 2단계 시스템적 접근방법을 요약하면 그림 1과 같다.

2. CQN을 이용한 초기 시스템 산정

본 연구에서 제시한 2 단계 시스템적 접근 연구방

법을 사용하기 위해 첫 번째로 그림 1과 같이 주어진 설비의 운영데이터를 기반으로 초기 시스템 구성을 CAN-WIP모형을 사용하여 구한다

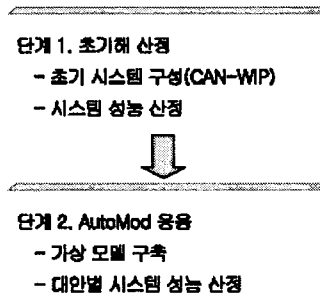


그림 1. 2단계 시스템적 접근방법

CAN-WIP을 통해 산정된 시스템 구성은 AutoMod를 이용한 시뮬레이션 방법에서 목표 성능을 만족하는 시스템을 구성하기 위한 기초 연구 자료가 되기 때문이다.

2.1 시스템 기대생산율 산정

본 연구에서 고려한 실린더 헤드라인의 성능 산정을 위해 그림 2와 같이 CQN으로 표시된 통합생산시스템이다. 여기서 각 S_i 개로 구성된 M 개의 설비그룹을 갖는 시스템에서 N 개의 공정내 재공품이 시스템 내에 있을 경우 설비그룹 i 내 대기 재공품 수를 n_i 라고 하면, 집합 \vec{n} 의 확률은 다음과 같이 표시할 수 있다[Gordon & Newell(1967)].

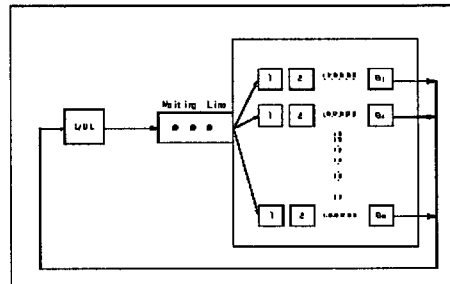


그림 2. CQN으로 표시된 통합 생산시스템

$$p(\bar{n}) = p(n_1, n_2, \dots, n_M) \\ = G(M, N)^{-1} g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdot \dots \cdot g_M(n_M)$$

여기서 $\bar{n} = (n_1, n_2, \dots, n_M)$

$$\sum_{i=1}^M n_i = N, \quad 0 \leq n_i \leq N$$

$g_i(n_i)$: 설비그룹 i에서 공정내 재공품 n개를 고려한 함수.

$$g_i(n_i) = \begin{cases} x_i^{n_i}, & s_i - 1, \text{ 단일 설비그룹} \\ \frac{x_i^{n_i}}{n_i!}, & n_i \leq s_i, \text{ 다 설비그룹} \\ \frac{x_i^{n_i}}{s_i! s_i^{n_i - s_i}}, & n_i > s_i, \text{ 무한 설비그룹} \end{cases}$$

여기서,

x_i : 설비그룹 i 할당된 작업량

s_i : 설비그룹 i의 설비대수, $i = 1, 2, \dots, M$

$$G(M, N) = \sum_{s \in (M, N)} g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdot \dots \cdot g_M(n_M)$$

위의 식으로부터

$$p(\bar{n}) = \frac{g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdot \dots \cdot g_M(n_M)}{\sum_{s \in (M, N)} g_1(n_1) \cdot g_2(n_2) \cdot \dots \cdot g_M(n_M)}$$

$G(M, N)$ 는 모든 가능한 상태(n_i)의 조합에서 정상 확률(Steady State Probability)의 합이므로 $p(\bar{n}) \leq 1$ 이 된다.

i) 단일 설비그룹인 경우

$$p(\bar{n}) = \frac{1}{G(M, N)} x_1^{n_1} x_2^{n_2} \cdot \dots \cdot x_M^{n_M} \\ = \frac{x_1^{n_1} x_2^{n_2} \cdot \dots \cdot x_M^{n_M}}{\sum_{s \in (M, N)} x_1^{n_1} x_2^{n_2} \cdot \dots \cdot x_M^{n_M}}$$

ii) 다 설비그룹인 경우

$$p(\bar{n}) = \frac{1}{G(M, N)} \frac{x_1^{n_1}}{n_1!} \frac{x_2^{n_2}}{n_2!} \cdot \dots \cdot \frac{x_M^{n_M}}{n_M!}$$

여기서, $G(M, N) = \sum_{s \in (M, N)} x_1^{n_1} x_2^{n_2} \cdot \dots \cdot x_M^{n_M}$

따라서, CQN 모델에서의 통합 생산시스템 성능은 다음과 같이 산정한다.

1) 작업중인 설비의 기대비율

(Expected Proportion of Busy Machine):

i번째 설비그룹내 작업중인 기대 설비 대수를 B_i 라 두면

$$B_i = \sum_{k=0}^{s_i} k p_i(k) + \sum_{k=s_i+1}^N s_i P_i(k) \\ = x_i \frac{G(M, N-1)}{G(M, N)}$$

즉 각 설비그룹에서의 작업중인 기대 설비 대수는 그 설비그룹내 작업량에 비례하므로 다음 식이 성립된다.

$$\frac{G(M, N-1)}{G(M, N)} = \frac{B_1}{x_1} = \frac{B_2}{x_2} = \dots = \frac{B_M}{x_M}$$

2) 시스템 효율(Efficiency of the System)

시스템 효율은 단위시간당 기대 생산량과 전체 시스템내 설비가 항상 작업중일 경우의 생산량과의 비율이다.

$$E_{\#} = \frac{P_E}{P_I} \text{ 이므로}$$

여기서, $E_{\#}$: 시스템 효율

P_E : 기대 생산물

P_I : 최대 생산물(이상적인 경우)

따라서

$$E_{\#} = \frac{P_E}{P_I} = \sum_{s \in (M, N)} P(\bar{n}) \cdot U(\bar{n}) = \frac{G(M, N-1)}{G(M, N)}$$

2.2 초기시스템 산정

본 절에서는 2.1절에서 제시한 수리모델과 Solberg[1980]의 CAN-Q 모델을 고려하여 개발한 CAN-WIP 모델을 통해 실린더 헤드라인의 초기 시스템 설비를 결정한다. 초기 시스템 설비를 결정하기 위해 각 설비들이 각각 한대로 가정하고 충분한 공정내 가용 재고량을 가지는 조건 하에서 초기 시스템을 구성한다. 그리고 목표생산능력 및 최소 비용을 만족하는 최적시스템을 구하기 위하여 각 단계마다 에로공정의 설비 수를 한 단위씩 증가시킨다. 본 연구에서는 그림 3과 같이 실린더 헤드라인의 공정에서 라인 전체 장비 가동률이 86%를 만족하는 초기 시스템을 산정한다.

CAN-WIP 모델은 확정적인 방법으로 매우 간편하게 사용가능하며 다양한 결과를 분석할 수 있는 반면에, 다음과 같은 많은 가정사항과 활용상의 제한사항이 있다. 이중 중요한 것을 요약하면 다음과 같다:

- 1) 평균흐름시간이 단순 평균치로 산정된다. 이는 작업시간, 대기시간 및 운반시간의 합으로 산정되나 이들의 시간들은 실제로는 작업지점간의 거리, 가공제품의 형태 및 가공순서 등에 따라 상이하나 본 연구에서는 충분히 고려되지 못한다.
- 2) 본 모델은 CQN 시스템을 고려하며 한 설비에서 작업후 후속 작업을 수행한다. 이 과정에서 후속작업으로 전환이 가능하지 못할 경우에 일반적으로 발생하는 작업차단, 작업정지 및 작업고갈현상 등이 고려되지 않았으므로 생산능력을 과다 평가할 가능성이 크다.
- 3) 작업순서를 FIFO(First-In First-Out) 정책에 따라 수행되며 다른 작업순서 정책을 고려할 경우는 그 결과가 다르게 될 가능성이 크다.

3. AutoMod를 이용한 시스템성능 산정

3.1 생산라인의 구성

실린더 헤드라인에 대한 3D 시뮬레이션 모델 개발은 생산라인의 설계안의 타당성을 검증함으로써 설계 실패비용 최소화 및 시스템의 적정 성능산

정이 주요 목적이 된다.

본 연구에서 고려하는 실린더 헤드라인은 실린더 헤드라인 가공 설비, 공정간의 재공품 재고 보관 설비인 자동창고, 컨베이어 및 각 공정간의 물류운반장비(컨베이어, EMS Carrier 및 젠트리 로더)로 구성되며 이들 설비등을 고려한 실린더 헤드라인 공정을 도식화하면 그림 3과 같다.

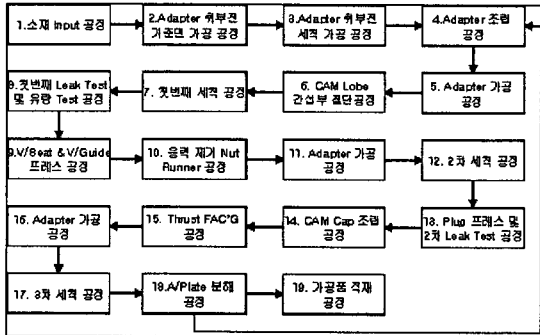


그림 3. 실린더 헤드라인 공정도

실린더 헤드라인내 각 공정은 물류장비를 통해서 연결되어 있으며 실린더 헤드라인에서 사용되는 물류장비는 EMS Carrier, 젠트리 로드 및 Conveyor가 있고 각 물류장비에 대한 속도와 높이는 표 1과 같다.

표 1. 물류장비 사양.

물류장비명	속도	높이
EMS CARRIER	40m/min	6.5m
젠트리 로드	240m/min	5.5m
CONVEYOR	12m/min	0.11m

실린더 헤드라인은 다음과 같은 가공공정을 수행한다.

- ① 공정 1에서 소재를 공정 내로 투입.
- ② 공정 4에서 공팔렛과 소재가 서로 조립됨(공팔렛과 소재가 서로 조립되지 않으면 소재는 후속공정으로 보내지 않음).
- ③ 공정 18에서 공팔렛과 가공된 실린더 헤드를 분리시킨 후 완성 실린더 헤드는 공정 19로 보내며, 공팔렛은 공정 18에서 세척후 공정 18에 위치한 자동창고에 저장됨.
- ④ 세척된 공팔렛은 공정 18내에 배치된 자동창고에서 출고후 EMS Carrier를 통해서 공정 4로 보내짐.
- ⑤ 공정 2와 공정 16내 설비들은 병렬로 배치되어 있으며 젠트리 로드와 의해서 한 단위 소재만 한 설비에 투입후 가공되며 가공후 다시 젠트리 로드를 통해서 후속공정으로 보내짐.
- ⑥ 공정 내 자동창고는 후속 공정 정체를 시 가공중인 실린더 헤드를 임시로 보관하다가 전공정 정체를 시 보관중인 재공품을 후속 공정으로 보냄.

시뮬레이션 모델을 통한 시스템 성능을 산정하기

위해 단계 1에서 산정한 초기 시스템에서 주어진 실린더 헤드라인 시스템의 적정 성능을 유지하기 위해 생산라인내 일부 공정간에 자동창고시스템을 구축하여 재공품 재고를 일시적으로 저장하여 재공품 재고에 따른 시스템 성능 저하를 방지하고 각 공정간 운반장비인 EMS Carrier도 적정 대수를 사용함으로써 운영비용의 최소화를 목적으로 한다.

EMS Carrier는 각 공정간 실린더 헤드를 운반하는 Overhead Conveyor로 Carrier마다 Motor가 내장되어 개별 구동되며 구동장치의 소음이 매우 적고 다양한 운반 물을 운반과 동시에 분류가 가능한 장비이다. 젠트리 로드는 자동화 대응을 위해 가공 설비내 가공품의 자동 로딩/언로딩이 가능하며 인접한 다른 설비에 자동으로 가공품을 운반하는 자동화 장비이다.

실린더 헤드라인공정에는 총 10대의 젠트리 로드를 유용할 예정이며 각 젠트리 로드의 배치위치는 표 2와 같다. 뿐만 아니라 물류장비인 공정내 EMS Carrier는 표 3과 같이 3곳에 설치되어 운영된다.

표 2. 공정내 젠트리 로드 위치

번호	배치위치	
	전공정	후공정
#1	1	2A
#2	1	2B
#3	2	3
#4	4	5
#5	5	6
#6	8	9
#7	10	11
#8	11	12
#9	15	16A
#10	15	16B

표 3. 공정내 EMS Carrier 위치 및 대수

번호	배치위치		최소 소요대수	최대 소요대수
	전공정	후공정		
#1	1	2	4 대	5 대
#2	15	16	4 대	5 대
#3	18 A/P Stock	4	8 대	8 대

실린더 헤드라인공정에서는 각 공정에서 발생하는 재공품 재고를 자동창고에 저장함으로써 공정내 재공품 지연을 방지하고자 공정내 자동창고를 설치하고 공정내 자동창고 위치는 표 4와 같다.

표 4. 공정 내 자동창고 위치

번호	설비명	배치위치	
		전공정	후공정
#1	ASRS1	8	9
#2	ASRS2	10	11
#3	ASRS3	11	12
#4	ASRS4	12	13
#5	ASRS5	13	14
#6	ASRS6	14	15
#7	ASRS7	17	18
#8	ASRS7	19	19

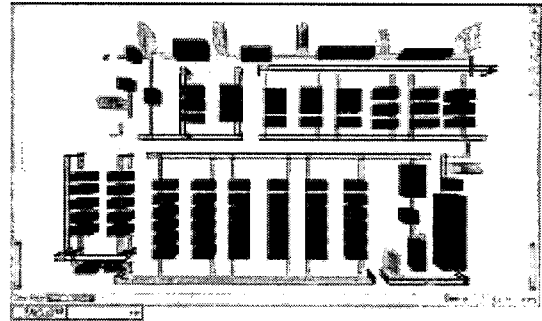


그림 4. 실린더 헤드라인 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 수행후 대안별 시뮬레이션 결과 값을 나타내면 표 6과 같다.

3.2 시뮬레이션 모델 구축

본 연구에서는 주어진 EMS Carrier대수에 따른 실린더 헤드라인공정의 성능산정을 수행하고자 한다. 적정 EMS Carrier 대수산정은 각 공정간 재공품 재고 방지 및 생산능력을 향상시킬 수 있다. 따라서 본 연구에서는 EMS Carrier 대수에 따른 시스템 분석을 통한 적정 EMS Carrier 대수 산정 및 이때의 시스템 성능을 제안하고자 한다.

실린더 헤드라인공정내 연간 목표 생산량은 설계 기준으로 33만대이며 작업계획은 연간 250일이 고 1일 2교대로 가동되도록 한다. 또한 본 시스템 내 전체 설비의 목표 가동률은 90%로 설정하였다.

시뮬레이션 모델 구축 후 표 5와 같이 본 연구에서는 EMS Carrier 대수에 따라 총 4가지 대안을 설정하여 각 대안별 실린더 헤드라인공정의 시간당 생산량, 장비별 가동률(교장률 고려), 자동창고의 평균 점유율과 최대 점유율, 센트리 로더 및 EMS Carrier 성능을 산정하였다.

표 5. EMS Carrier 대수에 따른 대안

대안	공정 1 ~ 공정 2 EMS Carrier 대수	공정 15 ~ 공정 16 EMS Carrier 대수
#1	4	4
#2	4	5
#3	5	4
#4	5	5

EMS Carrier 대수에 따른 시스템 성능을 산정하기 위해 그림 4와 같이 AutoMod 시뮬레이터를 이용한 실린더 헤드라인 시뮬레이션 모델을 구축하였다.

그림 4와 같이 구축된 시뮬레이션 모델은 다음과 같은 조건에서 시뮬레이션을 수행한다.

- ① 1회 총 시뮬레이션 수행 기간: 28일
- ② Warm Up 기간: 3일
- ③ 실제 1회 시뮬레이션 수행기간: 25일
- ④ 시뮬레이션 총 수행 횟수: 10회

표 6. 대안별 시뮬레이션 수행 결과값

대안	UPH	생산률	생산량(25일)
#1	74.18대/hr	92.7%	35235대
#2	74.32대/hr	92.9%	35302대
#3	74.30대/hr	92.9%	35300대
#4	74.70대/hr	93.4%	35476대

시간당생산량은 4가지 대안 모두 74대이상, 생산률은 92% 및 생산량은 3만 5천대이상 생산 가능하다. 따라서 본 시스템에서는 4가지 대안 모두 주어진 조건을 만족하므로 최소의 설비 대안인 대안 1을 고려하면 된다. 즉 공정 1과 공정 2, 공정 15와 공정 16에서의 EMS Carrier를 4대씩 설치하여 운영시 최소의 비용으로 요구 성능을 만족시킬 수 있다.

4. 결론

본 연구는 실린더 헤드라인에 대한 3D시뮬레이션 개발 연구로서 이를 위해 AutoMod 시뮬레이터를 이용한 실린더 헤드라인 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 본 연구에서는 공정 1과 공정 2와 공정 15와 공정 16에서 운영되는 EMS Carrier 대수에 따른 4가지 대안을 설정하고, 설정된 대안에 따라 각 대안별로 시간당생산량과 시스템 성능 산정하였다. 본 연구는 EMS Carrier 대수에 따른 성능산정 연구를 수행하였으나, 전체 시스템에 대한 성능산정을 위해서는 시스템에서 사용되는 물류장비(센트리 로더, EMS 및 자동창고)의 적정 운영(물류장비 속도, 대수 및 버퍼사이즈 등)등을 고려한 시뮬레이션 수행 연구가 요구된다.

참고 문헌

- [1] 김원경, 김충규, "자동차 도장공정의 생산성 향상을 위한 시뮬레이션 분석", 한국시뮬레이션학

- 회지 제 8권, 제 2호, pp. 73-84, 1999.
- [2] 문덕희, 장구길, "타이어 제조셀 시스템 설계지원을 위한 시뮬레이션 모델", 한국시뮬레이션학회지, 제 9권, 제 2호, pp. 27-38, 2000.
- [3] 오필범, 임석철, 한형상, "시뮬레이션을 사용한 엔진생산라인의 설계개선", 한국시뮬레이션학회지, 제 9권, 제 1호, pp.1-9, 2000.
- [4] AutoSimulations, AutoMod User's Manual, 2000.
- [5] Bozer, Y.A.·White, J.A., "Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems", *IIE Transactions*, Vol.16, No.4, 1984, pp. 329-338.
- [6] Caron, F. · Marchet, G. · Perego, A., "Optimal Layout in Low-level Picker-to-part Systems", *International Journal of Product Research*,
- [7] Gordon, W.J. and Newell, G.F., "Closed Queueing Systems with Exponential Servers", *Operations Research*, Vol.5, No.2, pp. 254-265, 1967.
- [8] Gray, A.E. · Uday, S.K. · Abraham, S., "Design and Operation of an Order-consolidation Warehouse: Models and Application", *European Journal of Operational Research*, Vol.58, 1992, pp. 14-36.
- [9] Hwang, H. · Chang, I.H. · Moon, S.W., "An Economic Design of Refrigerated Automated Storage and Retrieval Systems", *Engineering Optimization*, Vol.32, 1999, pp. 249-266.
- [10] Johnson, N.L. · Kotz, S., *Urn models and their application*, John Wiley & Sons, Inc, 1977.
- [11] Solberg, J., "Analysis of Flow Control in Alternative Manufacturing Configuration.", *Journal of Dynamic Systems*, 1980. Vol.38, No.1, pp.101-117, 2000.
- [12] Tompkins, J.A. · White, J.A. · Bozer, Y.A. · Frazelle, E.H. · Tanchoco, J.M.A. · Trevino, J., *Facilities Planning*, Second Edition, John Wiley & Sons, INC, 1996.