

자동차 금형 생산공정의 물류분석

김상훈*, 김기동**, 신동목*, 한형상*

*고등기술연구원 생산기술연구실, **강원대학교 산업공학과

Performance Analysis of a Die Fabrication Process In Automotive Production

Sang-Hun Kim*, Ki-Dong Kim**, Dong-Mok Sheen*, Hyung Sang Hahn*

*Manufacturing Technology Lab., Institute for Advanced Engineering

**Department of Industrial Engineering, Kangwon National University

Tool shop of the 'D' Motor Co.(DMC) fabricates dies for producing automotive press panels. In order to increase the production capacity of the tool shop, DMC established an FMS that consists of a couple of high-speed machines and a CMM at the tool shop in 1997. Due to the difference in machine capability among the existing machines and the new FMS, it is needed to find an optimal way of allocating workloads among machines to maximize the production. In a way to solve this, we model the die fabrication process of the tool shop and analyze its performance by computer simulation. In this study, we at first identify the bottleneck processes of the die fabrication process under the current operation policy. Then, we derive some alternative operating policies applicable to the tool shop, and analyze the optimal operation policy by comparing the performance of the tool shop following each alternative policy.

1. 서론

'D'자동차 금형공장은 차체제작에 필요한 Panel Press 작업용 금형을 가공 제작하고 있다. 3개 차종 동시개발, 해외 생산거점 확충, 해외 자동차시장 진출 등의 전사적 생산능력 확충전략에 따라 금형공장의 생산능력을 증대하기 위하여 1997년 상반기에 고속 가공장비, CMM 등을 갖춘 FMS 가공라인을 추가로 설치하였다. 신설된 FMS 가공라인의 장비와 기존의 생산장비는 가공속도, 정밀도 등 성능면에서 차이가 커서 단순히 생산공정의 부하를 병렬적으로 분담하기가 어렵다. 따라서 실제로 금형생산을 늘리기 위해서는 금형 생산공정의 부하를 기존의 가공설비와 신설 FMS 가공라인에 적절히 분담시킴으로써 애로공정의 발생을 방지하고 원활한 생산을 유도할 수 있는 최적 운영방안의 모색이 필요하게 되었다. 본 연구에서는 컴퓨터 시물레이션 분석기법을 이용해 기존 생산공정의 애로공정을 파악하고, 기존 설비와 신규 FMS 가공라인 간 적정 부하할당을 통하여 애로공정을 해소함으로써 전체 금형 생산공정의 부하를 평균

화하고자 한다. 아울러 작업자 및 FMS 라인의 Buffer 추가 설치가 전체 공정의 생산성에 미치는 영향을 분석하여 추가 필요성 여부도 분석한다.

2. 금형공장 현황

2-1. 금형공장 개요

'D' 자동차의 금형공장은 차체제작에 필요한 Panel Press 작업용 금형을 생산한다. 1997년에 1800톤의 금형을 생산하였으며, 그 중 5%를 외주작업으로 충당하였다. 연간 1800톤의 금형 생산능력이란 연간 4개 차종 제조에 필요한 Press 작업용 금형을 생산할 수 있는 능력을 의미한다. FMS 라인 증설을 통하여 'D' 자동차는 1999년부터 금형생산을 연간 2500톤으로 증대시키려 한다.

2-2. 금형 생산공정의 특징

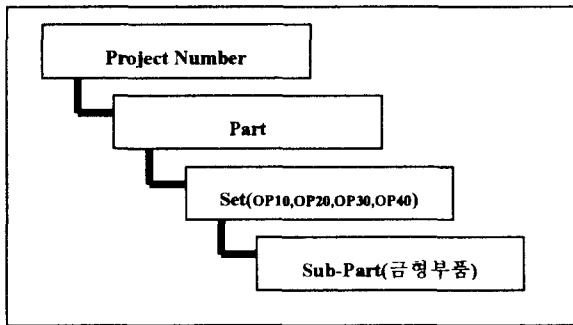
차체제작에 필요한 Panel Press 작업용 금형은 차종과 Panel(외판, 트렁크 등)에 따라 금형의 종류, 수량,

가공시간, 생산공정이 모두 다른, 다품종-단일품 주문 생산방식의 특징을 가지고 있다.

다음은 금형 생산공정의 일반적인 특징이다.

- 생산공정 순서가 복잡하다.
- 생산공정의 Lead Time 이 길다.
- 금형의 구조가 복잡하다.
- 조립대상 부품의 수량이 많고 다양하다.
- 공정 구성이 복잡하다(선후관계, 분해, 조립).
- 공정의 표준시간 산정이 어렵다.
- 일정계획 수립 및 진도/부하 현황 파악이 힘들다.
- 일정계획 변동요인(작업지연, 불량, 설계변경, 긴급작업, 기계고장)이 빈번하게 발생한다.

2-3. 금형 구성체계



[그림 1] 금형제품 구성도

[그림 1]은 'D' 자동차 금형제품 구성도로서, 상

세 한 금형 구성체계는 다음과 같다.

• Project Number

Project Number 는 하나의 차종 생산에 필요한 모든 Panel Press 작업용 금형들을 나타내는 단위로서, 각 Project Number 는 T-100, J-100, V-100 등 차종으로 구분한다.

• Part

Part 는 하나의 Panel 생산에 필요한 일련의 Press 작업용 금형들을 나타내는 단위로서, 외판, 루프, 트렁크 등 차체를 구성하는 Panel 들로 구분된다. Part 는 금형 형상의 복잡도에 따라 2 개에서 7 개까지의 Press 공정용 금형들로 구성된다.

• Set

Set 은 하나의 Panel 생산에 필요한 개별 Press 작업용 금형들을 나타내는 단위로서, OP10, OP20, OP30, OP40 등 단위 Press 공정으로 구분된다. 차체를 구성하는 각각의 Panel 은 일반적으로 2 회에서 7 회까지의 Press 작업을 통해서 완성된다. 이

때 개별 Press 공정에 이용되는 금형 부품들을 Set 이라고 하며, Press 공정에 따라 Set 을 구성하는 금형부품의 종류와 수량은 달라진다.

2-4. 금형부품 구성

[표 1]은 각 Set(OP10, OP20, OP30, OP40)을 구성하는 금형 부품을 나타낸다.

[표 1] Set 구성요소

Set	Set 구성요소(금형부품)
OP10	상형, 하형, B/H(Blanking Holder)
OP20	상형, 하형, PAD, 주강(Cast Steel), Steel
OP30	상형, 하형, PAD, 주강, Steel, CAM(CAM-Driver, CAM-Slider, CAM-Pad)
OP40	상형, 하형, PAD, 주강, Steel, CAM(CAM-Driver, CAM-Slider, CAM-Pad)

2-5. 금형 생산공정

[표 2]는 금형공장에서 수행하는 금형 생산공정으로서 금형패턴 검사, 주물입고, Press 작업용 금형가공, 사상, 금형출고(금형이관) 순으로 이루어진다.

[표 2] 금형 생산공정

금형제작 공정	공정내용
패턴검사	스티로폴로 만든 패턴(업체에서 납품)검사
주물외주	외주업체에서 주물제작
주물입고, 검사	입고, 검사
가공대기	<ul style="list-style-type: none"> • 상형, 하형, PAD, B/H 는 준비조립장 대기 • CAM-Driver, CAM-Slider, CAM-Pad 는 CAM 대기장 대기 • Steel, 주강은 Steel 대기장 대기
1, 2 차가공	바닥면가공, 구조부가공, Wear Plate 가공
조립	금형부품 조립
3 차가공	3 차가공(황삭)
FMS 대기	FMS 라인 투입 대기
FMS 가공	3 차가공(중삭, 정삭)
사상	수작업 사상
Spotting 작업	<ul style="list-style-type: none"> • 가공 완료된 금형을 이용하여 Press공정 실시 • 수작업 사상
Line Tryout 작업	<ul style="list-style-type: none"> • 가공 완료된 금형을 이용하여 Press 공정 실시 • 수작업 사상
사상	수작업 사상
금형대기, 출고	금형공장 밖으로 금형을 이송

3. 모델링

3-1. 대표금형

본 연구에서는 다품종-단일품 주문 생산방식의 금형 생산공정을 모델링하기 위해서 우선 다양한 금형들을 대표하는 가상의 '대표금형' 개념을 정의하였다. '대표금형' 개념을 기준으로 하나의 Project Number는 대형 Part 4개, 중형 Part 6개, 소형 Part 4개로 구성되며, 하나의 Part는 OP10, OP20, OP30, OP40 등 4개의 Set으로 구성된다. 또한 각 Set은 [표 1]의 금형부품으로 구성된다.

3-2. 대표금형의 생산공정

금형 생산공정의 기능을 정의하기 위해서 IDEF0 Function Modeling 방법론을 지원하는 BPwin2.0 Software를 이용하여 금형 생산공정의 모델을 개발하였다. [표 3]은 정의된 대표금형의 생산공정 모델이다.

3-3. 공정 시물레이션 모델링

금형 생산공정의 성능분석을 위한 물류 시물레이션 모델은 AutoMod Simulation S/W를 이용하여 개발하였다. 금형 가공시간은 'D' 자동차에서 측정된 금형 가공시간 데이터를 가상의 "대표금형"의 "대표금형 생산공정"에 할당하여 산정하고, 정규분포를 따른다고 가정하였다. 금형 생산공정의 모델링 범위는 패턴검사와 주물의주를 제외한, 주

물입고부터 금형출고까지 이다. 가공설비에서의 가공공정은 금형 Setup 후 Set down 할 때까지의 공정을 한 단위로 구분하였다. 가공설비의 가동률 정의는 가용시간 대비 실제 가동시간으로서, FMS 라인의 1일 가용시간은 24시간으로 정의하였고, 기타 가공설비의 1일 가용시간은 16시간으로 가정하였다. 또한 물류이송장비와 금형 가공설비에서 고장은 발생하지 않는다고 가정하였으며, 각 가공설비에서 금형 투입순서와 물류이송장비의 운영규칙은 FIFO(First In First Out)규칙을 적용하였다.

4. 실험계획

4-1. 대안수립

본 연구에서 금형 생산공정을 분석하는 주목적은 FMS 라인 신설에 따른 기존 가공설비와 신설 FMS 라인간의 애로공정을 파악하여 금형 생산공정을 기존 가공설비와 FMS 간에 적절히 재할당하기 위한 것이다. 현재 금형공장에서는 가공설비의 공구준비, 가공설비의 성능문제 등으로 공정 재할당이 가능한 것은 중삭작업 뿐이다. 이에 따라 [표 4]과 같이 중삭작업을 Copy Machine에서 수행하는 대안 1과 FMS 라인에서 수행하는 대안 2를 설정하고, 중삭작업을 수행할 기계선정과 애로공정의 파악을 위해 실험계획을 수립하였다.

[표 3] 대표금형의 생산공정

대기	비대기가동	드물함	구조부품	view of set	조립	합성	구조부품	setup	합성(FMS)	합성(FMS1)	구조부품	숙성	set down	사입	조립	set down	line layout	합성/사입	조립
10인형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
10비형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
20인형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
20비형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
20인형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
20비형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
30인형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
30비형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
30인형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
30비형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
40인형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
40비형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
40인형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
40비형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
40인형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립
40비형	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립	합성/조립

4-2. 실험계획

[표 4] 실험계획

	중작업 수행기계	반복실험횟수	Interval Time
대안 1	Copy Machine	5 회	5 일
대안 2	FMS 라인	5 회	5 일

[표 4] 실험계획에서는 대안 1 과 대안 2 에 대해 특정 Project Number 에 해당하는 하나의 차종 생산에 필요한 모든 금형의 생산을 완료하는 시점까지 시물레이션을 수행하였다. 각 대안별로 5 회 반복하여 실험하고, 5 일단위로 실험결과를 산출하였다.

5. 실험결과

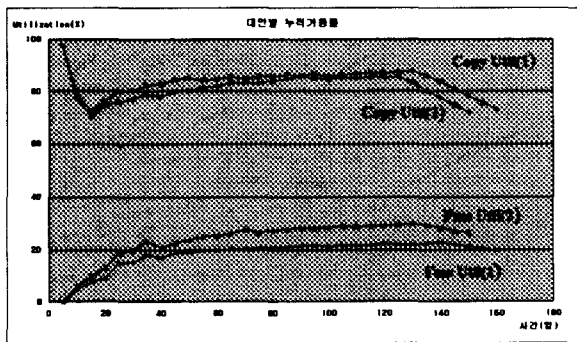
5-1. 중작업 수행기계 선정

중작업을 수행할 기계를 선정하기 위해서 대안 1 과 대안 2 에 대하여 Makespan, 금형의 Throughput Time, Copy Machine 과 FMS 라인 가동률을 분석지표로 사용하여 결과를 분석하였다. [표 5]는 대안 1 과 대안 2 에 대한 분석지표를 정의한 것이다.

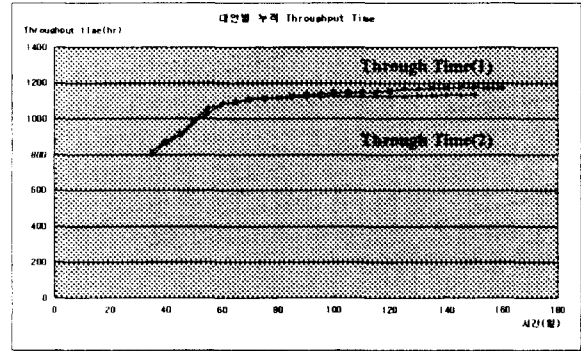
[표 5] 대안별 분석지표

	중작업 수행기계	Copy Machine 가동률	FMS 가동률	Throughput Time/금형
대안 1	Copy Machine	Copy Util(1)	Fms Util(1)	Through Time(1)
대안 2	FMS	Copy Util(2)	Fms Util(2)	Through Time(2)

[그림 2]는 대안별 Copy Machine 과 FMS 라인의 누적 장비가동률 결과를 비교한 것이며, [그림 3]은 대안별 누적 Throughput Time 과 Makespan 을 비교한 것이다. [그림 2]와 [그림 3]는 5 회 반복실험한 결과를 평균하여 산출하였다.



[그림 2] 대안별 누적 가동률비교



[그림 3] 대안별 누적 Throughput Time 비교

[표 6] 대안별 분석결과 비교

	Makespan / Project Number	Throughput Time/금형	Copy Machine 가동률(%)	FMS 가동률(%)
대안 1	156.5 일	47.1 일	86.1	21.1
대안 2	149.5 일	46.6 일	84.4	28.0

[표 6]에서 한 차종의 금형생산에 대한 대안별 분석결과를 보면, FMS 에서 중작업을 수행하는 것(대안 2)이 Copy Machine 에서 중작업을 수행하는 것(대안 1) 보다 Throughput Time 은 11.8 시간(1%), Makespan 은 7 일(4.5%)이 적게 소요된다. 또한, 대안 2 에서는 대안 1 보다 Copy Machine 의 가동률은 2.0% 낮고, FMS 라인의 가동률은 8.9% 향상됨으로써 공정부하가 보다 평균화 된다. 따라서, FMS 에서 중작업을 수행하는 것이 Copy Machine 에서 중작업을 수행하는 것 보다 우수함을 알 수 있다.

[표 6] 대안별 분석결과에서, 대안 1 과 대안 2 의 차이에 대해 t검정을 실시해 본 결과, 각 분석지표에 대한 대안별 데이터가 99%신뢰구간에서 매우 유의한 것으로 나타났다.

5-2. 예로공정 파악

FMS 라인의 신설이후, 대안 2 에 따른 기계설비와 작업자의 가동률은 [표 7]과 같다.

[표 7] 대안 2 의 설비/작업자 가동률

설비/작업자	가동률(%)
HMCT	94.3
Copy Machine	84.4
준비조립장 작업자	65.8
완성 3 직장 작업자	38.8
FMS 라인	28.0

Spotting 작업자	55.3
Line Tryout 작업자	58.5

[표 7]의 설비/작업자 가동률 결과를 보면, HMCT와 Copy Machine의 가동률은 각기 94.3%, 84.4%로 다른 가공설비나 작업자에 비하여 높게 나타났다. 따라서 현재 금형 생산공정의 애로공정은 HMCT, Copy Machine과 관련된 공정임을 알 수 있다.

5-3. FMS Buffer와 작업자 충원 필요성

[표 7]의 설비/작업자 가동률 결과를 보면, FMS 라인(28.0%), 준비조립장 작업자(65.8%), Line Tryout 작업자(58.5%), Spotting 작업자(55.3%), 완성 3 직장 작업자(38.8%)의 가동률이 Copy Machine(84.3%)과 HMCT(94.3%)의 가동률에 비하여 높지 않다. 따라서 현 상황에서 FMS 라인의 Buffer 추가설치 및 작업자 충원은 불필요한 것으로 나타났다.

6. 결론 및 추후 연구과제

'D' 자동차 금형 생산공정에 대한 시물레이션 분석 결과, FMS 라인의 추가 설치로 인하여 HMCT와 Copy Machine 공정이 애로공정이 될 것으로 예측되었고 이는 현실과도 부합되고 있다. 부하 평균화를 위한 공정 재할당을 위해서는 중삭작업을 FMS 라인에서 수행하는 것이 바람직한 대안으로 분석되었다. 끝으로 FMS 라인과 작업자의 가동률이 다른 가공설비에 비하여 높지 않기 때문에, 현 상황에서 FMS 라인의 Buffer 추가설치 및 작업자 충원은 불필요한 것으로 나타났다.

추후에는 본 연구의 후속작업으로 연간 2500톤의 금형생산 목표를 달성하는 방안을 도출할 계획이다. 우선, 금형공장의 현 보유 설비만으로 목표를 달성할 수 있는지를 분석하고, 만약 목표달성이 불가능할 경우에는 가공설비의 증설을 포함한 여러 대안을 수립하고 이를 분석하여 적절한 목표 달성 방안을 제시할 예정이다.

7. Reference

[1] Acree, E.S., and Smith, M.L., "Simulation of a flexible manufacturing system-applications of computer operating system techniques", *The 18th Annual Simulation Symposium 1985(Tampa, FL : IEEE Computer Society Press)*, pp.205-216, 1985.

[2] Kiran, A.S., and Smith, M.L., "Simulation studies in job scheduling-a survey", *Computers and Industrial Engineering*, VOL.8, NO.2, pp.87-93, 1984a

[3] Kiran, A.S., and Smith, M.L., "Simulation studies in job scheduling-performance of priority rules", *Computers and Industrial Engineering*, VOL.8, NO.2, pp.95-105, 1984b

[4] Sabunchoglu, I., "A study of scheduling rules of flexible manufacturing systems: a simulation approach", *International Journal of Production Research*, VOL. 36, NO.2, pp. 527-546, 1998.

[5] Steudel, H.J. and Berg, L.E., "Evaluating the impact of flexible manufacturing cells via computer simulation", *Elsevier Science Publishers B.V.*, pp.121-130, 1986.

[6] Steudel, H.J., "Job-shop layout via computer simulation", *International Journal of Production Research*, VOL. 19, NO.1, pp 59-67, 1981.

[7] "금형설계", 대우자동차 생산기술연구소, 1996

[8] "금형 일정관리 시스템 개발", KAIST 산업공학과, 1996.

[9] "AutoMod User's Manual Volume 1-4", AutoSimulations Corporation, 1996.

[10] "제 8 회 CAD/CAM 컨소시엄 Workshop 발표자료 모음집", KAIST 산업경영연구소, 1997.