

MTM에 의한 조립 라인 분석의 사례 연구+

(A Case Study on Assembly Line Analysis with MTM)

B.	W.	Niebel*
조	규	갑**
이	석	호**
조	용	이***

《요 약》

조립 라인의 병행 정도와 생산성 향상 가능성을 분석하기 위해 MTM 기법이 적용되었다.

포니 자동차의 변속기 조립 라인의 실제 사례 연구를 통해 가장 많은 작업량이 있는 애로 공정이 MTM 자료에 기준하여 127% 효율로 작업되고 보통공정이 102% 효율로 작업되는 것이 조사되었다. 이는 이 라인의 능률이 양호하다는 것을 보여 주고 같은 수의 작업자로 두배까지의 생산량 증가라는 현 관리자의 희망대로 될 수 없다는 것을 보여 준다. 더욱 많은 생산량을 원한다면 더 많은 작업자를 투입해야 할 것이고 만약 작다면 더 적은 작업자로 더 많고 균형된 작업량을 할당하는 것이 필요할 것이다.

MTM 분석중 여러가지 방법 개선점이 지적되었고 이는 작업 사이클당 육체적 노력을 증가시키지 않은 상태에서 표준 시간의 감소와 작업량의 증가를 의미하는 것이다.

1. 서 론

생산 라인에서 각 구성원의 작업 수행 표준 시간이 일치하는 라인, 즉 완전히 평형되어 있는 생산 라인은 현실적으로 거의 존재하지 않는다. 조립 라인을 계획할 때에는 연속 조립에 참여하는 각 작업자에 비슷한 작업량을 할당하는 것이 중요한 일이고 생산 라인에 할당할 최적 작업자 수를 결정하는 문제는 자동차 산업을 포함하여 여러가지 산업 분야에서 공통적인 문제이다. 대부분의 경우에 라인 평형 문제는 연속 작업을 할 때 여러 작업자가 한 단위로 일할 경우에 발생하게 되고 이런 상황하에서는 생산율은 가장 느린 작업에 의해 좌우되는 경향이 있다. 여러 가지 조립 작업의

작업 내용을 만족스럽게 평가하는 것은 평가자의 경험과 여러가지 경험적 규칙에도 불구하고 어려운 일이다.

과학적 관리의 시조라고 불리는 Frederick W. Taylor의 시대 이래로 과학적 관리는 작업의 여러 기본 동작에 할당되는 표준 시간이 필요함을 느껴왔다. 연속적 조립 라인을 계획하는 데 있어서 기본적 동작 시간 자료인, 방법-시간-측정(MTM) 체계를 사용하는 것이 좋은 방법의 하나로 알려지고 있다. MTM은 1948년에 소개된 것으로서 같은 해에 Maynard[1] 등에 의해 MTM에 관한 책이 발간되어 기본 동작인 도달(Reach), 이동(Move), 회전(Turn), 잡(Grasp), 위치잡(Position), 메어 놓음(Disengage), 그리고 놓음(Release) 동작들에 대한 時間値들을 정했고, 또 이들은 MTM을

* Professor Emeritus, Dept. of Industrial and Management Systems Engineering, The Pennsylvania State University, U.S.A.

** 부산 대학교 공과 대학

*** 현대 자동차 주식회사

+ 본 사례 연구는 1979년 11월중 현대 자동차(주) 포니 변속기 조립 라인을 분석한 것이고 촬영된 VTR카세트 테이프는 부산 대학교 기계공학과에 보관되어 있다.

“人間이 行하는 어떤 手作業이나 方法을 이들을 수행하는데 필요한 基本 動作으로 分析하고, 각 기본 동작에 動作의 성격과 조건에 의해서 미리 精確한 時間值를 할당하는 절차”라고 정의하였다. [1] 즉 MTM법은 스프 위치에서 의한 시간 연구를 행하지 않고 시간을 구하고자 하는 작업 방법의 분석 수단이라 할 수 있다. MTM法이나 Work Factor Co.에서 제작한 Work Factor法[2]과 같은 PTS(Predetermined Time Standards) 방법은 관찰자가 동작자 옆에 서서 동작마다 시간을 계속 측정하여 표준 시간을 설정하는 스프 위치 시간 측정 방법보다 작업자에게 긴장을 덜 주고 일반적인 표준 자료로 작업을 비교할 수 있다는 점에서 우수하다. 그리고 MTM 분석은 신체의 일정 부분을 기준으로 해서 표준 시간을 할당하는 Work Factor 체계보다 동작 전체에 표준 시간이 할당되어 분석이 쉽게 행해질 수 있는 이점이 있다.

MTM 분석은 우선 작업을 적절히 수행하는데 필요한 모든 왼손 동작과 오른손 동작을 요약한다. 그리고 MTM 자료집으로부터 각 동작에 대한 정상 시간(여유 시간을 뺀 보통 작업자에 의해 요구되는 시간)을 TMU(Time Measurement Unit, 1 TMU=0.0001 시간)를 단위로 해서 결정한다. 만약 두 동작이 작업자에 의해 동시에 행해질 수 있다면 제약하는 동작만이 요약되고 제약하지 않는 동작은 원을 그려 놓거나 삭제해야 한다. [3]

완전한 MTM 분석은 라인의 각 작업에 요소 요소별 필요한 정상 노력 시간을 할당할 수 있게 한다. 이런 정보 자료는 조립 라인의 구성원들에게 작업을 할당할 때 특히 도움이 되고 조립 라인의 병행에 도움을 주며 원 라인이 얼마나 병행되어 있지 않는가를 알 수 있는 라인 효율의 효과적인 측정 수단을 제공하는 동시에 작업요소를 재할당할 수 있는 기회를 제공한다. 예를 들어 10 단계 라인에서 관찰된 작업의 MTM에 기초한 작업자 당 허용 작업 시간을 표-1과 같다고 하자.

표 1 단계별 MTM에 기초한 허용 작업 시간

단계	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
시간(분)	1.82	1.74	1.90	1.48	1.62	1.34	1.87	1.98	1.65	1.48

이때 콘베어 속도는 가장 긴 시간인 단계 8의 1.98분에 좌우되어 시간당 30.3 조립품을 생산하도록($60 \div 1.98 = 30.3$) 결정되고 라인의 효율은 $(1.82 + 1.74 + 1.90 + 1.48 + 1.62 \div 1.34 + 1.87 \div 1.98 + 1.65 + 1.48) \div (1.98 \times 10) = 85\%$ 이다. 이 조립 라인의 경우 작업자를 한 명 줄인 상태로 작업 요소의 더 고른 할당을 통해 더 좋은 병행이 이루어져서 비슷한 시간인 2분정도 마다 제품 한 개를 생산하는 결과를 가져왔다면 9명의 작

업자로 라인의 효율은 94% ($16.88 \div 9 \div 2 = 0.94$)로 증가되고 생산량도 비슷한 결과가 될 수 있다. 이와 같이 더 좋은 병행에 의해 얻어진 9%의 라인 효율 개선은 MTM법에 의해 특정지워 지는 기본적 동작 메타의 측정 가능성이 없다면 매우 힘든 것이다.

그리고 MTM 분석은 조립 공정에서 비효과적인 동작 형태를 발견할 수 있게 하고 가장 효과적인 방법을 제안하는 데에도 도움이 된다. [4] 그리하여 가장 느린 작업 단계에 이런 방법 개선을 도입함으로써 노동력의 증가없이도 라인의 생산성을 증가시킬 수 있다.

본 사례 연구에서는 현대 자동차(주)의 포니 승용차 변속기 조립 라인의 애로 공정과 보통 공정의 작업에 MTM 분석을 함으로써 조립 라인 병행에 MTM기법을 적용하는 사례를 예시하였다.

2. 자동차 변속기 조립 라인에의 적용 사례

현대 자동차의 포니 승용차 변속기 조립 라인에서는 매 2분마다 하나의 완전한 변속기를 조립하거나 혹은 매 1.5분마다 한대의 조립이 요구될 때 수요에 적응하는 효과적인 콘베어 조립 체계를 구성하는 것이 필요하게 되었다. 이는 수요가 많지 않을 경우 높은 비율로 생산을 계속하여 완성된 조립품을 재고로 쌓아두는 것보다는 필요한 수요에 따라 생산을 하는 것이 경제적이기 때문에 노동력을 조정할 수 있게 하여 최근의 작업 요구량에 적합한 연속 조립 라인을 조절하는 것이 필요하다.

가장 일이 많은 작업 단계가 콘베어 라인의 속도를 결정하므로 MTM 분석은 이 작업 단계에 먼저 행해져야 한다. 그리하여 변속기 조립 라인중 가장 힘들고 일이 많은 애로 공정 작업자를 선정하여 VTR(Video Tape Recorder)로 작업을 촬영하여 1/5 속도로 재방영 하면서 부록 1과 같이 동작을 MTM으로 분석하였다. 그리고 보통 공정 작업자를 선정하여 촬영하고 부록 2와 같이 분석하였다. 이 두 작업자의 MTM 분석 자료로써 변속기 조립 라인의 효율이 같은 수의 작업자들로 얼마나 증가될 수 있는가를 고찰해 보았고 또 방법 개선의 가능성을 검토하였다.

3. 결과 및 고찰

일이 가장 많고 힘들다는 애로 공정을 MTM 자료로 분석하였다. 이 공정의 현 조립 방법에 기초한 작업 단계의 상세한 MTM 분석이 부록 1에 주어져 있다. 이 공정의 총 정상 시간은 2849.1 TMU로 계산되었고 이것은 102.56초이다. 15% 허용도를 줄 때 허용 시간은 117.94초이다. 현재의 콘베어 속도는 1조립당 93초

이기 때문에 MTM에 의한 작업자의 능률은 $118 \div 93 = 127\%$ 이다. 이것은 효과적인 조립 라인이라는 것을 보여 주는 것으로 가장 일이 많은 단계에서 무척 능률적인 것이다. 그러나 127%의 능률은 능률급의 조건에서 얻어질 수 있다고 일반적으로 알려져 있고 작업자들이 일상조건에서 하루 종일 127%의 능률을 낼 것이라고 기대할 수 없기 때문에 이 작업자에 할당된 작업량이 100% 능률에 가깝게 작업 요소를 없애주거나

작업 방법을 개선하는 것이 좋을 것이라고 생각된다. 예를 들면 부록 1 작업 사이클의 시작 부분에서 작업자는 오른손으로 케이블을 들어 왼손으로 진해 주고 오른손은 케이블 끝에 조립할 개스킷을 집어 드는 순서가 있다. 이는 표 2와 같이 케이블과 개스킷을 동시에 잡는 방법에 의해 수행하는 것이 능률적이다. 이때 88.7 TMU에서 46.7 TMU의 작업으로 변해 42 TMU의 동작이 절약된다.

표 2. 새로 공정 작업중 개선된 방법의 MTM 분석 예

Description(left hand)	Symbol	TMU	Limiting TMU	TMU	Symbol	Description(right hand)	
Pick up cable	R24B	21.5	21.5	15.6	Get gasket & assembly		
	G1A	2.0			8.7	R14C	
	M7A	8.9			8.9	G1C2	
Hold cable			5.6	5.6	M7A		
Hold cable			2.0	2.0	PISE		
					RL1		

부록 2는 보통 작업자에 의해 행해지는 작업에 대한 분석이다. 이의 총 정상 시간은 2299.5 TMU로 계산되어 82.78초이고 15% 허용도일때 허용 시간은 95.2초가 된다. 큰배어 속도가 1조립당 93초이기 때문에 MTM에 기초한 이 작업자의 능률은 $95.2 \div 93 = 102\%$ 가 된다. 부록 2의 작업에서도 방법개선이 가능한 부분이 있다. 12개의 나사가 자동 다축 나사 절기기로 한번에 조여지기 전에 나사들을 상자에서 꺼내어 나사 구멍에 넣고 손으로 뱃바퀴를 예비로 돌려서 자리를 맞추어 놓는 작업에서 5번 회전 정도로 제자리가 찾아지므로 손으로 10번 이상 돌리는 현 작업 방법은 될수록 적게 돌리는 방법으로 개선되어야 한다.

두 공정의 MTM에 기초한 정상 시간의 차이가 1조립당 23.16초라는 것은 거의 23%의 차이로써 크게 배분되지 못한 것을 알 수 있고 MTM같이 기본적인 동작 자료 체계로 상세한 분석을 하지 않은 대부분의 조립 라인에서 발생하기 쉬운 오류라 할 수 있다. 이렇게 고르게 분배되지 못한 작업은 특정인에게 지나친 노력과 숙련을 요구하게 되고 조립 라인 전체의 유연성을 제한하는 요인이라 볼 수 있다. 느린 단계들에서 비례적으로 많은 일이 할당되지 않은 작업 단계로 작업 요소들을 조금씩 재할당함으로써 작업자를 보충하지 않은 상태에서 조립 라인의 속도를 증가시킬 수 있고 어떤 특정 작업자에게 MTM기준의 120% 이상의 빠른 속도로 작업하도록 요구할 필요가 없게 된다.

MTM 분석이 가능한 방법 개선은 각 변속기 조립에 요구되던 작업 시간을 현저히 감소시킬 수 있게 한다. 분석된 라인에서 다음과 같은 것들이 지적되었다.

1. 양손이 동시에 동작을 시작하지 않는다.

2. 양손에 의한 지연 시간이 사이클 시간의 많은 부분을 차지하고 있다.
3. 손(왼손과 오른손)이 고정할 때 많이 사용되고 있다.
4. 부품들과 공구들이 정상적인 작업 영역내에 위치하지 않고 있다.
5. 공구와 도구들이 일정한 위치에 놓여 있지 않다.
6. 공구들이 가장 좋은 연속 동작을 할 수 있는 위치에 놓여 있지 않다.
7. 윗면 공간들이 재고 부품을 준비하고 공구를 달아 놓는 데에 충분히 이용되지 않고 있다.
8. 작업 위치 설계가 작업자가 작업에 충분히 가깝게 되어 있지 않다.

4. 결 론

MTM 기법의 조립 라인 평형에의 적용으로써 현재 자동차(주)의 변속기 조립 라인에서 가장 힘들고 일이 많은 공정의 작업자와 보통 공정의 작업자의 두가지 경우의 동작을 VTR로 촬영하여 동작 및 시간 분석을 MTM 자료에 의하여 행하였다. 그리하여 허용 시간을 MTM 자료로 산출한 후 그 작업자의 라인 작업에서의 효율을 계산하였고 두 작업자의 할당된 작업이 MTM에 의한 정상 시간으로 비교해 볼 때 23%의 차이가 나타났고, 라인 효율을 높이는 방법으로 작업량 제한 당과 동작 방법 개선의 가능성을 제시하였다. 이때 동작 연구는 MTM 기법의 큰 이점의 하나로 동작 분석을 함으로써 작업 사이클당 육체적 노력을 증가시키지 않고 가장 효과적인 도달, 램, 이동, 위치함 그리고 놓

음을 잘 배합하여 생산량을 최대로 할 수 있는 가능성을 보였다.

그리고 애로 공정 작업자의 능률이 127%이고 보통 공정 작업자의 능률이 102%임을 볼 때 앞으로 이 라인에서 현 관리 기술자들의 희망대로 같은 작업 인원으로 시간당 생산량의 두배까지의 증가는 기대할 수 없고 더 이상의 생산량 증가를 위해서는 조립 작업자의 추가 배치로 각 작업자당 담당 작업량을 고르게 인화하는 것이 필요하다는 것이 판명되었다. 마찬가지로 시간당 생산량의 감소를 원할 때는 조립 작업자를 줄이고 담당 작업량을 고르게 증가하는 재할당이 필요하다고 하겠다.

이상으로 MTM 기법에 의한 동작 분석의 적절한 연습을 통한 숙련으로 MTM 기법이 대부분의 조립 라인 효율의 측정 수단, 작업량의 고른 재할당 수단 그리고 조립 방법 및 조립 라인 배치의 효과적 개선 수단으로 사용될 수 있음을 알 수 있다. 또 MTM 자료가 일정 동작의 세계 표준 시간임을 생각해 볼 때 각 작업자의 작업 능률을 평가하는 우수한 기준 자료를 제시한다는

것을 알 수 있다.

參考文獻

[1] Maynard, H.B., Stegemerten, G.J. and Schwab J.L., *Methods-Time-Measurement*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1948.
 [2] Niebel, B.W., *Motion and Time Study*, 6th ed., Richard D. Irwin Inc., HomeWood, Illinois, 1976.
 [3] Antis, William, Honeycutt, John Jr. and Koch, Edward N., *The Basic Motions of MTM*, 3rd ed., The Maynard Foundation, Pittsburgh, 1968.
 [4] Karger, Delmar W. and Bayha, Franklin H., *Engineered Work Measurement*, Industrial Press, New York, 1966.
 [5] Maynard, H.B., *Industrial Engineering Handbook*, 3rd ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 1971.

부록 1. 애로(Bottleneck) 공정 작업의 MTM 분석의 일부분

METHODS ANALYSIS CHART

Description(left hand)	Symbol	THU	Limiting TMU	TMU	Symbol	Description(right hand)
Idle			21.5	21.5	R24B	Switch assembly (46) Pick up cable & move to lefthand
Idle			2.0	2.0	G1A	
Idle			14.4	14.4	M14A	
	G1A	2.0	2.0	2.0	RL	
						Get gasket (47) assembly
Hold Cable			15.6	15.6	R14C	
Hold Cable			8.7	8.7	G1C2	
Hold Cable			16.9	16.9	M14C	
Hold Cable			5.6	5.6	P1SE	
Hold Cable			2.0	2.0	RL1	
						Lubricate end of Cable
Hold Cable			9.6	9.6	R12A	Get grease gun
Hold Cable			2.0	2.0	G1A	
	M10C	13.5	15.2	15.2	M12C	
Hold Cable			11.2	11.2	P1SD	Lubricate
Hold Cable			10.6	10.6	AP2	
Hold Cable			13.4	13.4	M12B	Place gun on bench
Hold Cable			2.0	2.0	RL1	
						Get ball, turn & move to conveyor
Cable to right hand	M12A	12.9	12.9	9.6	R12A	
	RL	2.0	2.0	2.0	G1A	

Description(left hand)	Symbol	TMU	Limiting TMU	TMU	Symbol	Description(right hand)
Get ball	R16C	17.0	17.0			Idle
	G1C1	7.3	7.3			Idle
Insert ball into Socket			37.2	37.2	TBC2	Turn
			30.0	30.0	WP2	Walk to Conveyor
	M14C	16.9	16.9			Hold Cable assembly
	P2SE	16.2	16.2			Hold Cable assembly
	AP2	10.6	10.6			Hold Cable assembly
	RL2	0	0			Hold Cable assembly
						Insert & Screw on bolt assembly
Idle			15.2	15.2	M12C	
Idle			21.0	21.0	P2NSE	
Idle			131.6	131.6	TS 180	Seven complete 360° turns(14×9)
						Tighten with open end wrench
			21.5	21.5	R24B	Get wrench
			2.0	2.0	G1A	
Move to housing	R18A	12.3	25.5	25.5	M24C	
	G1A	2.0	19.7	19.7	P2SSE	Tighten
Hold body			6.5	6.5	TM60	
Hold body			16.2	16.2	AP1	
Idle			20.6	20.6	M24B	Wrench to bench
Idle			2.0	2.0	RL	
						Wrap Cable around body & clamp
Idle			13.1	13.1	R20A	Get Cable
Idle			2.0	2.0	G1A	

부록 2. 보통 공정 작업의 MTM 분석의 일부분

METHODS ANALYSIS CHART

Description(left hand)	Symbol	TMU	Limiting TMU	TMU	Symbol	Description(right hand)	
Get stud						Install protector	
	R20C	19.8	22.5	22.5	R24C	Get Protector	
	G1A	2.0	7.3	7.3	G1C1		
	M14C	16.9	16.9	15.2	M12C		
	P1SE	5.6	5.6			Idle	
	RL	2	2.0			Idle	
				16.2	16.2	P2SE	
				7.5	7.5	D2E	
							Turn fixture
		R10B	11.5	11.5	11.5	R10B	
	AP1	16.2	16.2	16.2	AP1		
	M20A	19.2	19.2	19.2	M20A		
Get paper						Obtain route sheet and post	
	R18B	17.2	17.2			Idle	
	G1B	3.5	3.5			Idle	

Description(left hand)	Symbol	TMU	Limiting TMU	TMU	Symbol	Description(right hand)
	TBC2	37.2	37.2			Idle
	WP2	30.0	30.0			Idle
			12.9	12.9	R12B	Get Pencil
			7.3	7.3	G1C1	
			9.2	9.2	M8C	
			29.0	29.0	B	
			83.0	83.0		Use
						Move route sheet to conveyor
	AB	31.9	31.9	31.9	AB	
	TBC2	37.2	37.2	37.2	TBC2	
	WP2	30.0	30.0	30.0	WP2	
	M14B	14.6	14.6			
	RL-1	2.0	2.0			
			13.1	13.1	R20A	
			2.0	2.0	G1A	
			15.2	15.2	M12C	
			5.6	5.6	P1SE	
			333.0	333.0		Use(fill reservoir)
			18.2	18.2	M20B	
			2.0	2.0	RL-1	
						Get & Place gasket
	SSC2	34.1	34.1			
	R20B	18.6	18.6			
	G1B	3.5	3.5			
	M24C	22.5	22.5	18.6	R20B	
	P2NSD	26.6	26.6	5.6	G2	
	AP	10.6	10.6			Hold gasket
	RL2	0	0			
						Get & Place Cover Plate
			37.2	37.2	TBC2	
			30.0	30.0	WP2	
			12.9	12.9	R12B	
			2.0	2.0	G1A	
			37.2	37.2	TBC2	
			30.0	30.0	WP2	
	R12B	12.9	15.2	15.2	M12C	
	G2	5.6	21.0	21.0	P2NSE	