

# Loss 가

## A Study on the Improvement Countermeasures for the Equipment Productivity and Efficiency Based on the Equipment Loss Structures

\*

\*\*

Oh-Woon Kwon \* Hong-Chul Lee \*\*

### Abstract

The purpose of this research is to present the calculating methodology of equipment efficiency and time availability indices, and also the improvement countermeasures for these related indices by TPM activities. So, this treatise presented a new proposal model capable of calculating the productivity, efficiency, and also reliability indices of equipment. These indices are based on the modified 7 major loss time structure hindering the equipment efficiency. This new proposal model is the calculating methodology for the equipment efficiency indices such as operation rate, time availability, performance efficiency, quality rate, overall equipment efficiency(OEE), net equipment efficiency(NEE), and the equipment productivity indices such as production readiness rate, equipment productivity, total effective equipment productivity (TEEP). And also, this model is to be the easy calculating methodology for the equipment reliability indices such as the time availability based on and composed of MTBF. Finally, this research presented the countermeasures for improving the equipment efficiency and reliability indices by TPM activities.

1.

가 Loss 가 TPM  
가 , 가 가

\*

, KSA

\*\*

(Availability) , Loss 가  
 , 가 , 가 , 가  
 가 , 가 .  
 . 가 .

가  
 MTBF, MTTR

## 2. 가

Loss 가  
 , 가  
 Loss 가  
 가 , 가 , ,  
 ,  
 Loss ,  
 가 , 가 , ,  
 .

### 2.1 가 (Availability)

가 가 가  
 < 1> .  
 가  
 [1].

1) (Operational Readiness) -  
 가

가 Loss  
 「  
 Loss 」  
 가 「가 가  
 ( )」  
 가 , 가  
 , 가 , ,  
 , (Total Effect-

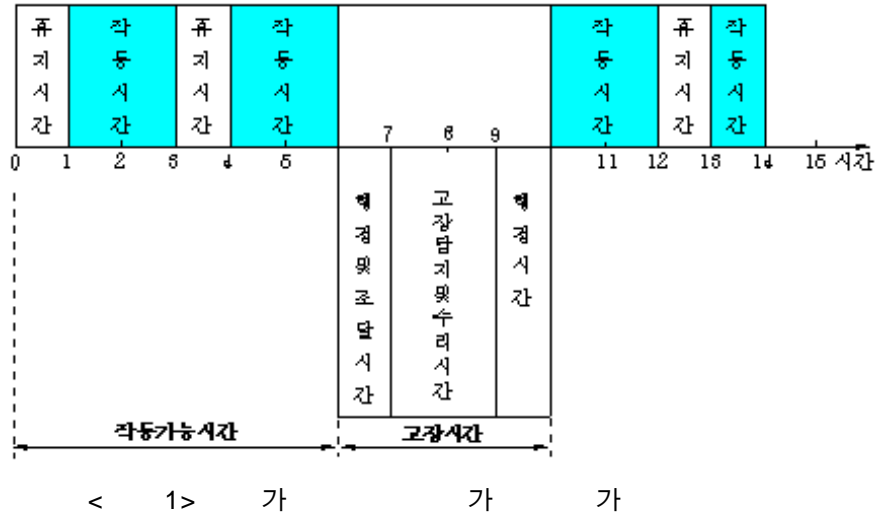
$$(1) \quad = \frac{\text{가}}{\text{가} + \text{가}} \quad (1)$$

2) 가 (Availability) -

, (2)  
 , 가  
 (Operational Availability)  
 .  
 ( )가 =  $\frac{\text{가}}{\text{가} + \text{가}}$  (2)

3) 가 (Inherent Availability) -  
 (Mean Time To Repair)

Loss 가



(Mean Active Repair Time)

가 (Inherent Availability)

$$= \frac{1}{1 + \frac{m}{l}} \quad (3)$$

가

$$A(t + Dt) = A(t)(1 - lDt) + [1 - A(t)]mDt$$

$$= A(t) - lA(t)Dt + mDt - mA(t)Dt$$

$$\lim_{Dt \rightarrow 0} \frac{A(t + Dt) - A(t)}{Dt} = -(l + m)A(t) + m$$

$$\frac{d}{dt} A(t) = -(l + m)A(t) + m$$

$$A'(t) + (l + m)A(t) = m$$

가

(4), (5) [1][2].

(4)

(5)

(Availability)  $A(t)$  (6)

$$A(t) = \frac{m}{m+1} + \frac{1}{m+1} e^{-(m+1)t}$$

$$A = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = \frac{m}{m+1}$$

가 .

$$A = \frac{1/l}{1/l + 1/m}$$

$$MTBF = 1/l, MTTR =$$

1/n

(9) 가 (Availability, A)

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

(9) 가 (  $A_t$  ) ,

가

$r$

(10)

$$A_t = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$= \frac{1/l}{1/l + 1/m} = \frac{m}{m+1} = \frac{1}{1+r}$$

$$r = \frac{1}{m} = \frac{MTTR}{MTBF}$$

가

가

$T$

$t$

가 [  $A_M(T; t)$  ]

(11) [2].

$$A_M(T; t) = e^{-lT} \cdot e^{-mt}$$

가

$T$

$t$  가

가

(availability) 가 .

( )가

가

가  $DM$

가  $A_E(T; t)$

, (12) [3].

$$A_E(T; t) = R(T) + \Delta M(T; t)$$

$$= R(T) + F(T)M(t)$$

$$= 1 - F(T)[1 - M(t)]$$

$DM$   $T$  가

[  $F(T)$  ]

$t$  [  $M(t)$  ]

[  $F(T)M(t)$  ]

$R(T) = e^{-lT}, M(t) = 1 - e^{-mt}$  (

)  $A_E(T; t)$  (13)

.

$$A_E(T; t) = e^{-lT} + (1 - e^{-lT})(1 - e^{-mt})$$

$$= 1 - (1 - e^{-lT})e^{-mt}$$

,  $l$  (/),  $m$  (/

),  $t$  ( ),  $T$

( ) .

가  $t = 0$

(14)가 [2].

$$A_E(T; 0) = e^{-lT} = R(T)$$

2.2 가  $MTTR$  ( , Mean Time To Repair) [5]. 가

2.2.1 가 (MTTR)  
 $MTBF$  (Reliability) 「 가  $MTTR$ ( )  

$$= \frac{1}{\lambda} \quad (16)$$
「 가 , ,  
“  
” (MTBF: Mean Time Between Failure)

가 [4].  $M(t)$   
(15) . [5].  
 $MTBF$ ( )  $M(t)$   

$$= \frac{1}{\lambda} \quad (15)$$
.  $t=0$   
MTBT ,  $T$   
가 ,  $F(t)$   
가 .  
,  $MTTR$   
 $m(t)$   $m(t)$   
(17), (18) [1].

$$m(t) = \frac{dM(t)}{dt} \quad (17)$$

$$m(t) = \frac{m(t)}{1 - M(t)} \quad (18)$$

$$(Maintainability) \quad \frac{M(t)}{M(t)} \quad (19)$$

$$M(t) = 1 - e^{-mt} \quad (19)$$

$M(t)$ 가 (19) , Loss . 가  
 $m$  7 Loss

$MTTR$  (Mean Time To Repair) (20) .  
 < 2>

$$MTTR = \frac{1}{m} \quad (20)$$

$MTTR$  , . . ,  
 , Loss, .  
 $t_i$  (  $i$  , Loss, ,  
 ) (21) , . 가 Loss  
 . 가가 가

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (21)$$

3. 가  
 Loss가 , . . , ,  
 Loss  
 “MTBF= / ”

3.1 가 Loss 가  
 < 2> Loss  
 . . , ,

3.1.1 가 7 Loss  
 Loss  
 Loss 가  
 가 MTBF “MTBF=( )가  
 Loss Loss, . . / ” ,  
 Loss, Loss, Loss,  
 . Loss, Loss,  
 . 가 Loss 7가 가  
 [6] -[8]. 가 7 Loss

3.1.2 가 Loss 가  
 Loss가



(24) 3.2.1 8 Loss

가 =  $\frac{C/T \times}{가}$  (24) Loss SD Loss, Loss,

3) - Loss, Loss, Loss, Loss, Loss, 가 Loss 8가 가 [7] -[9]. 8 Loss

가 , (25)

=  $\frac{C/T \times}{가}$  (25)

4) - (22)~(25) Loss가

(26)~(28)

가 . Loss . 8

(가 )

= 가 x 가 x (26) Loss < 3>

=  $\frac{가}{가} \times \frac{C/T \times}{가} \times \frac{가}{가}$  [3].

=  $\frac{C/T \times}{가}$  < 3>

(27) 8 Loss

=  $\frac{C/T \times}{가}$  SD, Loss, Loss, Loss, 가가

(28)

가 가 Loss 가

Bottle Neck 가

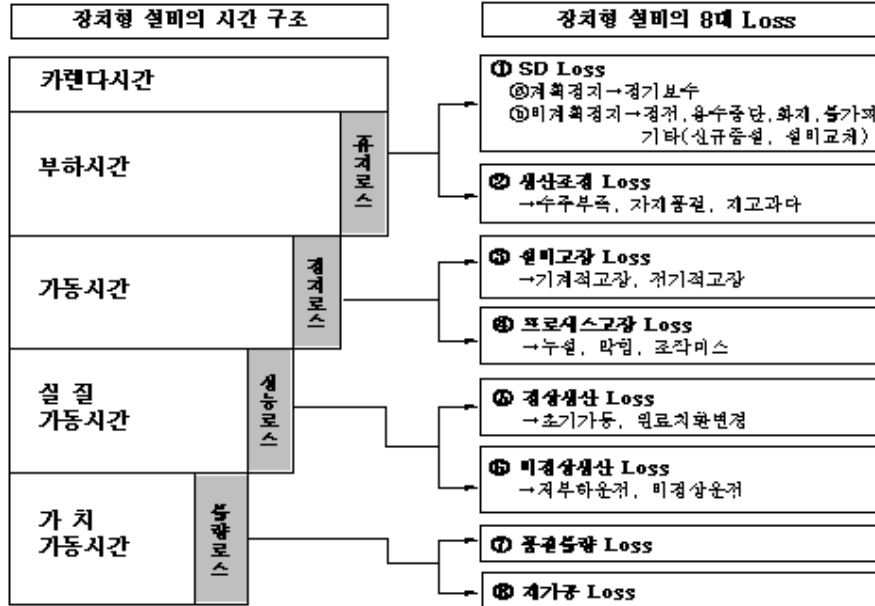
Loss Loss가 , Loss “MTBF=

가 / ”

3.2 Loss 가 가 .

< 3> Loss





< 3>

8 Loss

Loss )

Loss [7] - [9].

가 MTBF 1) -

「 MTBF=( )가 / (29) .

」 , Loss

가 가

.

.

=  $\frac{\text{Loss}}{\text{Loss}}$

3.2.2 Loss 가

=  $\frac{\text{Loss}}{\text{Loss}}$  (29)

가 2) 가 - 가

, , Loss

Loss 가

가 (30) . 가

( 가 가

$$\begin{aligned}
 & \text{가} = \frac{\text{가} - \text{Loss}}{\text{가}} \\
 & \text{가} = \frac{\text{가}}{\text{가}} \quad (30) \\
 2) & \text{가} - \text{가} \\
 & \text{가} \quad (31) \\
 & \text{가} = \frac{\text{가}}{\text{가}} \quad (31) \\
 & , \quad (32) \\
 & \text{가} = \frac{\text{가}}{\text{가}} \quad (32) \\
 & \text{가} \quad \text{가} \quad \text{가} \\
 \text{C/T} & \quad (33)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{가} = \frac{\text{C/T} \times \text{가}}{\text{가}} \quad (33) \\
 3) & \text{가} - \text{가} \\
 & , \quad \text{가} \\
 & \text{가} \quad (34)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & = \frac{\text{가} - \text{Loss}}{\text{가}} \\
 & = \frac{\text{가}}{\text{가}} \quad (34) \\
 4) & \text{가} - \text{가}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (35), (36) \\
 & [5]. \\
 & ( \quad ) \\
 & = \times \\
 & = \times \text{가} \times \text{가} \times \\
 & \quad (35) \\
 & = \frac{\text{가}}{\text{가}} \times \frac{\text{C/T} \times \text{가}}{\text{가}} \\
 & \times \frac{\text{가}}{\text{가}} \\
 & = \frac{\text{가}}{\text{가}} \times \frac{\text{C/T} \times \text{가}}{\text{가}} \\
 & \times \frac{\text{가}}{\text{가}} \\
 & = \frac{\text{C/T} \times \text{가}}{\text{가}} \quad (36)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{가} \text{長大} \\
 & \text{가} \\
 & \text{가} , \\
 & \text{가} \quad \text{가} \quad \text{Bottle Neck}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Loss} \\
 & \text{가} \\
 & \text{Loss} \\
 3.3 & \text{가}
 \end{aligned}$$

, MTBF

[10]

## Loss

Loss . 7

Loss 가 가 SD, Loss,

Loss . . . Loss,

가 Loss 가 Loss,

가 가 ( , Loss,

) , Loss 가가 가

, ,

, 가 .

카렌다시간 (Time Available)			
부하(조업)시간 (Planned Running Time)		계획휴지 Loss	①SD Loss ②생산조정Loss
가동시간 (Production Time)		준비·교체·조정Loss	③준비·교체·조정 Loss
정미가동시간 (Net Production Time)		정지 Loss	④고장정지 Loss
유효가동시간 (Usable Production Time)	성능 Loss	⑤잠깐정지 Loss ⑥속도저하 Loss	
가치가동시간 (Net Productive Time)	불량 Loss	⑦불량품생산 Loss	

## 7 Loss

< 4>  
 가 「가 = 가 ( ( ) + Loss 」  
 「 MTBF= 가 / 」  
 Loss 가

3.3.2 가 Loss  
 가

1) (Operation Rate) - (37)

가 가  
 가  
 =  
 = (37)

2) 가 (Time Availability) - 가 (Planned Availability) (38)  
 가 가 가

가 가  
 가 =  
 가 (38)

3) (Production Readiness Rate) - 가 (39)  
 가 가

가 가  
 가  
 가 (39)

4) 가 (Performance Efficiency) - (40)

Loss  
 Loss

가 가  
 가  
 가 (40)

5) (Quality Rate) - (41)

가 가  
 가  
 가 가  
 가 (41)

6) (Equipment Productivity)

- 가

(42)

$$= \frac{\text{가}}{\text{가}} \times \frac{\text{가}}{\text{가}}$$

(42)

7) (Total Effective Equipment Productivity ; TEEP) -

(43)

(operation environment and machine condition) 가

$$= \frac{\text{가}}{\text{가}} \times \frac{\text{가}}{\text{가}} \times \frac{\text{가}}{\text{가}}$$

(43)

8) (Overall Equipment Efficiency ; OEE) -

(44)

(what is efficiency during production)

(OEE)

$$= \left( \frac{\text{가}}{\text{가}} \times \frac{\text{가}}{\text{가}} \right) \times \frac{\text{가}}{\text{가}}$$

(44)

9) (Net Equipment Efficiency ; NEE) -

(45)

(what is the machine doing during runtime)

(NEE)

$$= \frac{\text{가}}{\text{가}} \times \frac{\text{가}}{\text{가}} \times \frac{\text{가}}{\text{가}}$$

(45)

Loss

가

4. Loss 가

가 Loss 가 (Availability)

Availability=MTBF/(MTBF+MTTR)

MTBF, ( )가 MTBF

가 (Availability), ( ) MTTR

Loss MTBF, MTTR

가 가

Loss (Availability)

Loss

Loss 가 , 가

가 가 MTBF, MTTR

Loss Loss

가 (

가 1 ).

Loss 가

가 (

Loss 가 ) 가 .

가

Loss ( )가 가

Loss 가 , , 3

MTBF, MTTR 가 가

가 가

Loss 「

=가 + Loss 」 5. Loss 가

Loss Loss + Loss 」 5.1 가

< 1> ,

구 분	개선 전	개선 후
가동시간과 고장정지시간	<div> <div>고장→</div> <div>1.5Hr</div> <div>1.0Hr</div> <div>1.0Hr</div> <div>0.5Hr</div> </div> <div> <div>가동→</div> <div>4Hr</div> <div>4Hr</div> <div>7Hr</div> <div>3Hr</div> <div>2Hr</div> </div>	<div> <div>고장→</div> <div>0.5Hr</div> <div>0.5Hr</div> </div> <div> <div>가동→</div> <div>5Hr</div> <div>12Hr</div> <div>6Hr</div> </div>
가동시간합계	4H+4H+7H+3H+2H= 20H	5H+12H+6H=23H
고장정지시간 합 계	1.5H+1.0H +1.0H+0.5H=4H	0.5H+0.5H= 1.0H
고장정지횟수	4회	2회
MTBF (신뢰성)	$\frac{\text{가동시간합}}{\text{고장정지횟수}} = \frac{20H}{4\text{회}} = 5H$	$\frac{23H}{2\text{회}} = 11.5H$
MTTR (보전성)	$\frac{\text{고장정지시간합}}{\text{정지횟수}} = \frac{4H}{4\text{회}} = 1H$	$\frac{1.0H}{2\text{회}} = 0.5H$
고장도수율	$\frac{\text{정지시간합}}{\text{부하시간합}} \times 100 = \frac{4\text{회}}{24H} \times 100 = 16.7\%$	$\frac{2\text{회}}{24H} \times 100 = 8.3\%$
고장강도율	$\frac{\text{정지시간합}}{\text{부하시간합}} \times 100 = \frac{4H}{24H} \times 100 = 16.7\%$	$\frac{1.0H}{24H} \times 100 = 4.2\%$
지표 설명	평균고장간격시간(MTBF)을 보면 개선 전에는 1회에 5시간이었지만 개선 후는 11.5시간으로 고장이 감소되었다. 평균수리복구시간(MTTR)도 과거는 1시간이었으나 개선 후는 30분만 걸리는 것으로 계산되었다.	

가 , + 「 MTBF=(  
Loss 가 )가 / 」  
Loss ( )가  
< 2> 가 가 . (

)가  
[11] - [13]. Loss .  
, MTTR Loss

5.2 가 . 「가 =( )가  
+ 「 MTTR=  
/ 」

가 MTBF  
MTTR 가 .  
가 Availability 가 MTTR  
가  
, MTBF Loss 「가 =( )가 +  
「가 =( )가 」가

< 2> 가

Loss		
S D Loss	Loss	* SD ,
	Loss	* , , , 가
Loss		*
		*
Loss		* 가
		* 5
		* , ,
		*
		*
		*
		*
		* , , ,
Loss		*
		*
Loss	,	*
		-
Loss		* , ,
		*
Loss		* *
Loss		* Operator
		* PM
		* VTR Slow Motion
Loss		*
		- ,
		* - Air, Oil , , , 가
Loss		*
		*
		*
Loss	Loss	* Start, Stop,
		*
	Loss	*
Loss		*
		*
		*



가 , MTBF 「MTBF=

( )가 / 」

, . . Loss

Loss MTTR Loss 가

. 「 Loss 가

Loss = Loss + . . , 가

Loss 」 MTTR Loss 가 , 가 ,

Loss , ,

, . . Loss .

가 . 가

가 MTBF MTBF 가 Loss 「가

( )가 = - . . Loss -

Loss 」 가

MTTR , Loss

Loss < 2> 「가 = - Loss -

가 Availability . Loss 」 가

「MTBF=

/ 」 .

가

6. Loss 가

Loss 「 Loss 」

가 가 「가

가 ( )」

. ,

가 , 가 , ,

가 TPM (Overall Equipment Efficiency ; OEE)

. 가

Loss 가

가 (Availability) (Total Effective Equipment Produ-

가 , 가 가 ctivity ; TEEP), (Net Equip -

ment Efficiency ; NEE)

Loss

· Loss가 가 「가  
= 가 ( ) +  
Loss 」 「MTBF= 가  
/ 」

Loss

가

MTBF

가

Loss

가

Loss

가

가

1. , , pp. 42~46, , 1995. 8
2. , , pp. 669~702, , 1992
3. 川崎義人, , 1, p. 129, , 1992. 2
4. , , p. 552, 563, , 2000. 8
5. 日本規格協會, 品質保證のための 信賴性 管理便覽, pp 313~316, 東京, 1995
6. 日本プラントメンテナンス 協會, 新TPM 展開プログラム-加工組立編, 東京, 1992
7. 日本プラントメンテナンス 協會, TPM Instructor Course, Tokyo, 1998
8. 日本プラントメンテナンス 協會, 新TPM 展開プログラム-装置工業編, 東京, 1992
9. , TPM 가 , KSA, , 1997. 11
10. , 4 , , 1999
11. , Loss , KSA, , 98.1
12. , , KSA, , 1996.10
13. 日本プラントメンテナンス協會(JIPM), , p.53, 東京, 1992