



TIME TO REPAIR (TTR) REDUCTION AND SERVICE  
QUALITY IMPROVEMENT IN MAINTENANCE  
ACTIVITIES

by

Mr. Rungsak Luengrattanas

A Final Report of the Three - Credit Course  
CE 6998 Project

Submitted in Partial Fulfillment  
of the Requirements for the Degree of  
Master of Science  
in Computer and Engineering Management  
Assumption University

July, 2000



**TIME TO REPAIR (TTR) REDUCTION AND SERVICE QUALITY  
IMPROVEMENT IN MAINTENANCE ACTIVITIES**

by  
Mr. Rungsak Luengrattanamas

A Final Report of the Three-Credit Course  
CE 6998 Project

Submitted in Partial Fulfillment  
of the Requirements for the Degree of  
Master of Science  
in Computer and Engineering Management  
Assumption University

July 2000

Project Title                      Time to Repair (TTR) Reduction and Service Quality  
Improvement in Maintenance Activities

Name                                Mr. Rungsak Luengrattanas

Project Advisor                Dr. Chamnong Jungthirapanich

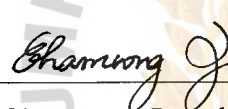
Academic Year                July 2000


---


The Graduate School of Assumption University has approved his final report of the three-credit course, CE 6998 PROJECT, submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Computer and Engineering Management.

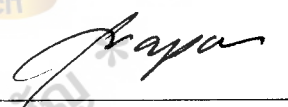
Approval Committee:

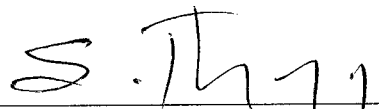
The seal of Assumption University of Thailand is a circular emblem. It features a central shield with a cross, a book, and a lamp. Above the shield is a crown. The shield is flanked by two figures. Below the shield is a banner with the text 'LABOR OMNIA VINCIT'. The outer ring of the seal contains the text 'ASSUMPTION UNIVERSITY OF THAILAND' and 'SINCE 1969'.

  
\_\_\_\_\_  
(Dr. Chamnong Jungthirapanich)  
Dean and Advisor

  
\_\_\_\_\_  
(Prof. Dr. Srisakdi Charmonman)  
Chairman

  
\_\_\_\_\_  
(Asst. Prof. Dr. Boonmark Sirinaovakul)  
Member

  
\_\_\_\_\_  
(Dr. Prapon Phasukyud)  
Member

  
\_\_\_\_\_  
(Assoc. Prof. Somchai Thayarnyong)  
MUA Representative

July 2000

## ABSTRACT

The purpose of this project is to recommend improvement to reduce Time to Repair (TTR), reduce breakdown maintenance or repairs in expressway lighting system. First of all, the study in maintenance concept is the need in order to know how we choose significant repairs.

Today, there are many concepts in maintenance. To achieve the goal of the project, it not only repairs when a machine breaks down, but also does the preventive action, which is known as Preventive Maintenance. Then develop to Total Productive Maintenance (TPM).

The significant repairs are chosen by the multiplication of TTR and the effect factor. Pareto is used to prioritize the repairs. And again Pareto chooses the major causes for the two significant repairs. One is 'All lighting in one supply pillar is black out'. The other is 'One lamp of expressway lighting is black out'.

To reduce the first significant repairs, it is to eliminate the repairs that cause about 80% to  $\Sigma$ TTR of the first repair group. There are 4 causes, too high voltage from MEA or PEA supply, no electricity on control circuit, photo sensors don't work, and operator forgetting. To eliminate 4 causes is to eliminate 80% of  $\Sigma$ TTR of 'All lighting in one supply pillar is black out'. And methods to reduce  $\Sigma$ TTR are suggested.

And to reduce or eliminate the second significant repairs is to implement early replacement for the lamp replacement which needs to find the optimum operation which is not only the effectiveness of the expressway lighting, but also minimizes the cost of maintenance.

Furthermore, to eliminate the remaining causes and to implement autonomous maintenance program is essential for TPM.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Many times that I have read numerous books, I always wondered why in this page many people are mentioned and receive special thanks from authors. Now that I have conducted this project, I realize that without the help and support of those who are mentioned in this page, this project would not have been a success.

The first person that I would like to express sincere gratitude is Dr. Chamnong Jungthirapanich, my project advisor, for the encouragement, guidance, and support given to me to complete the project. I would also like to express my appreciation to all my instructors.

I would like to express gratitude to all my colleagues at Bangkok Expressway Company Limited for providing the numerous information for this project.

I would like to express my sincere thanks to all my friends. Even though I cannot list all their names on this page, I wish them to accept my thanks. Special thanks are due to Mr. Pawin for all pictures in the project, Ms. Sasithorn for words of encouragement.

The last important persons that I would like to express my deepest gratitude to are my family members, especially to my grandmother who provided love, understanding and encouragement as fuel in my life.

## TABLE OF CONTENTS

<u>Chapter</u>	<u>Page</u>
ABSTRACT	i
ACKNOWLEDGEMENTS	ii
LIST OF FIGURES	v
LIST OF TABLES	vii
I. INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Objective of the Project	1
1.3 Scope of the Project	2
1.4 Expressway System	2
1.5 Bangkok Expressway Public Company Limited Profile	5
II. LITERATURE REVIEW	8
2.1 Maintenance Concept	8
2.2 Six Major of TPM Activities	12
2.3 Autonomous Maintenance Program	18
2.4 Quality Improvement Tools	23
III. RESEARCH METHODOLOGY	32
3.1 Overview of Expressway Lighting System	33
3.2 The Steps of TPM Plan	41
IV. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	60
4.1 Conclusions	60
4.2 Recommendations	61
APPENDIX A EM1 REPAIR REQUESTS DETAILS	65



## LIST OF FIGURES

<u>Figure</u>	<u>Page</u>
1.1 The Expressway System	4
1.2 The Organization Chart of Bangkok Expressway Public Company Limited	7
2.1 Optimum of Repair Speed in Breakdown Maintenance	10
2.2 Total Maintenance Cost as a Function of Breakdown Maintenance and Preventive Maintenance	10
2.3 Six Major TPM Activities	13
2.4 Planned Maintenance and Autonomous Maintenance Improvement Steps	16
2.5 The Four Lists	20
2.6 A Pareto Diagram	27
2.7 A Cause and Effect Diagram	27
2.8 A Flow Chart	30
3.1 Street Lighting	33
3.2 Street Lighting Near a Toll Plaza	33
3.3 Gantry Sign Lighting	34
3.4 Emergency Lighting at Terminal Approach	35
3.6 A Safety Switch	35
3.7 A Supply Pillar in A Basket	36
3.8 A Supply Pillar on Ground	36
3.9 Load Schedule of a Supply Pillar	37
3.10 Expressway Lighting Control Diagram	38
3.11 Control Diagram of a Supply Pillar	39
3.12 A Front Panel of a Supply Pillar	40



<u>Figure</u>	<u>Page</u>
3.13 A Photo Relay at a Supply Pillar	41
3.14 The Work Flow of Repair Request in Normal Cases	43
3.15 The Work Flow of Repair Request in Emergency Cases	44
3.16 The Repair Request Form	46
3.17 The Pareto for the Number of Repair Request and Their Cumulative Percentage	48
3.18 The Pareto for the Summation TTR of Repair Request and Their Cumulative Percentage	49
3.19 The Pareto for the Vital Repair Group of EM1	52
3.20 Cause of 'All Lighting of One Supply Pillar Is Black Out'	53
3.21 Cause of 'One Lamp of Street Lighting Is Black Out'	55
3.22 Typical Lumen Maintenance Curve	59
4.1 Cause-and-effect Diagram for 'All Lighting of One Supply Pillar Is Black Out'	62
4.2 A Supply Pillar PM Check Sheet	63

## LIST OF TABLES

<u>Table</u>	<u>Page</u>
3.1 List of Repair Requests	42
3.2 Summation of EM1 Repair Request from September 1999 till February 2000	45
3.3 Summation of EM1 TTR from September 1999 till February 2000	47
3.4 The Factor of Each EM1 Repair Group	50
3.5 The Vital EM1 Repairs	50
3.6 Cause of 'All Lighting of One Supply Pillar Is Black Out'	54
3.7 Cause of 'One Lamp of Street Lighting Is Black Out'	57
A.1 EM1 Repair Request Details	66



## I. INTRODUCTION

### 1.1 Background

Because of the economic crisis in 1998, there are also effects on the operation of the expressway. The volume of vehicles that use both First stage Expressway System and Second stage Expressway System is reduced. Until now, the volumes of vehicle that use expressway still do not touch the level before the economic crisis. And now there are a lot of competitors who appeared in last 2 years and also will appear in the next three years. Bangkok Transportation System (BTS) that already operated in 1999, is one of the expressway competitors. Metropolitan Rapid Transit Authority that is now building the subway, is another competitor in the next 2-3 years. The last sample that is a competitor of expressway is the local roads that are built by the Internal Ministry.

To deliver the better quality services to the expressway's users is one of the aims, that Bangkok Expressway Public Company Limited (BECL) and Expressway and Rapid Transit Authority of Thailand (ETA) Management have set. There are a lot of services that directly effect the service quality of the expressway such as communication service, traffic control, lighting system, and rescue services. All the mentioned services concern with the time that the expressway users consume compare to the other roads, safety, and price compared to time value.

Street lighting of expressway system or expressway lighting system, EM1, is the one that effects directly to the service quality of the expressway because it concerns with customer safety. To implement Total Productive Maintenance (TPM) to the expressway lighting system is to reduce the improper operations that cause the accidents.

## **1.2 Objectives of the Project**

- (1) To minimize breakdowns in the expressway lighting system.
- (2) To decrease Time to Repair (TTR) the expressway lighting repair.
- (3) To increase the expressway lighting reliability.
- (4) To study the expressway lighting system (EM1) maintenance.
- (5) To increase the quality of the expressway lighting.

## **1.3 Scope of the Project**

The scope of the project is to study the maintenance concept, breakdown maintenance (BM), preventive maintenance (PM), Total Productive Maintenance (TPM). And identify the significant repairs in the expressway lighting system of SES. Whenever the significant repairs are found, find the causes of the significant repairs and eliminate it from the roots if possible. The total TTR of expressway lighting in the significant repairs must be reduced.

## **1.4 Expressway System**

Expressway system is exclusive roadways, a way or road which is exclusively constructed at either ground level, underground, above ground or as a water surface for the specific purpose of providing convenience to traffic, that is organized and supervised by Expressway and Rapid Transit Authority of Thailand (ETA). ETA was established in 1972, as a state enterprise under Interior Ministry. ETA completed the expressway system for three projects as follows:

- (1) The First Stage Expressway System (FES)
- (2) The Second Stage Expressway System (SES)
- (3) Ramindra-At Sarong Expressway System



#### 1.4.1 The First Stage Expressway System (FES)

The First Stage Expressway System (FES) is a 27.1 Kilometers elevated toll expressway constructed between 1981 and 1978. The FES is owned and operated by ETA. The FES joins the central area of Bangkok with the suburban areas in three directions.

- (1) The eastern route connected to Bangna-Trad Highway at Bangna.
- (2) The southwestern route connected to Thonburi-Pak-Tho Highway and Petchakasem Highway, which is the only way to the South.
- (3) The northern route connected to Viphavadee-Rangsit Highway at Dindaeng.

#### 1.4.2 The Second Stage Expressway System (SES)

Second Stage Expressway System (SES) is a six-lane-elevated expressway of 39.8 kilometers in length. It connects the north of Bangkok, Nonthaburi and Prathumthani on Chaeng Wattana road, with central area of Bangkok on Rama IX road. This SES also provides the connecting route to the south of Bangkok at Bangkoklo. SES provides the service areas accordingly:

Sector A is a 12.4 km.-length route from Ratchadapisek Road around Prachachuen to Rama IX Road. It was first operated on September 2<sup>nd</sup>, 1993. Sector A begins at Ratchadapisek Road to the south, crosses the northern railway nearby Phaholyothin warehouse, parallels Rama VI Road through Pradipat Road and Rachavithi Road, and ends at Phayathai Interchange. The east bound connects FES at the Makkasan Interchange, crosses the Ratchadapisek Road, and ends at Rama IX Road.

SECTORS B is a 9.4 km.-length route the Rong Krongnam Samsaen to Bangkoklo. The sector is composed of the area of Sector B1 and CD Road. Sector B1 is the connecting route starting from Phayathai Interchange of Sector A to the FES at Bangkoklo Interchange. Due to the operation of Sector B in October 1996 the wing road was

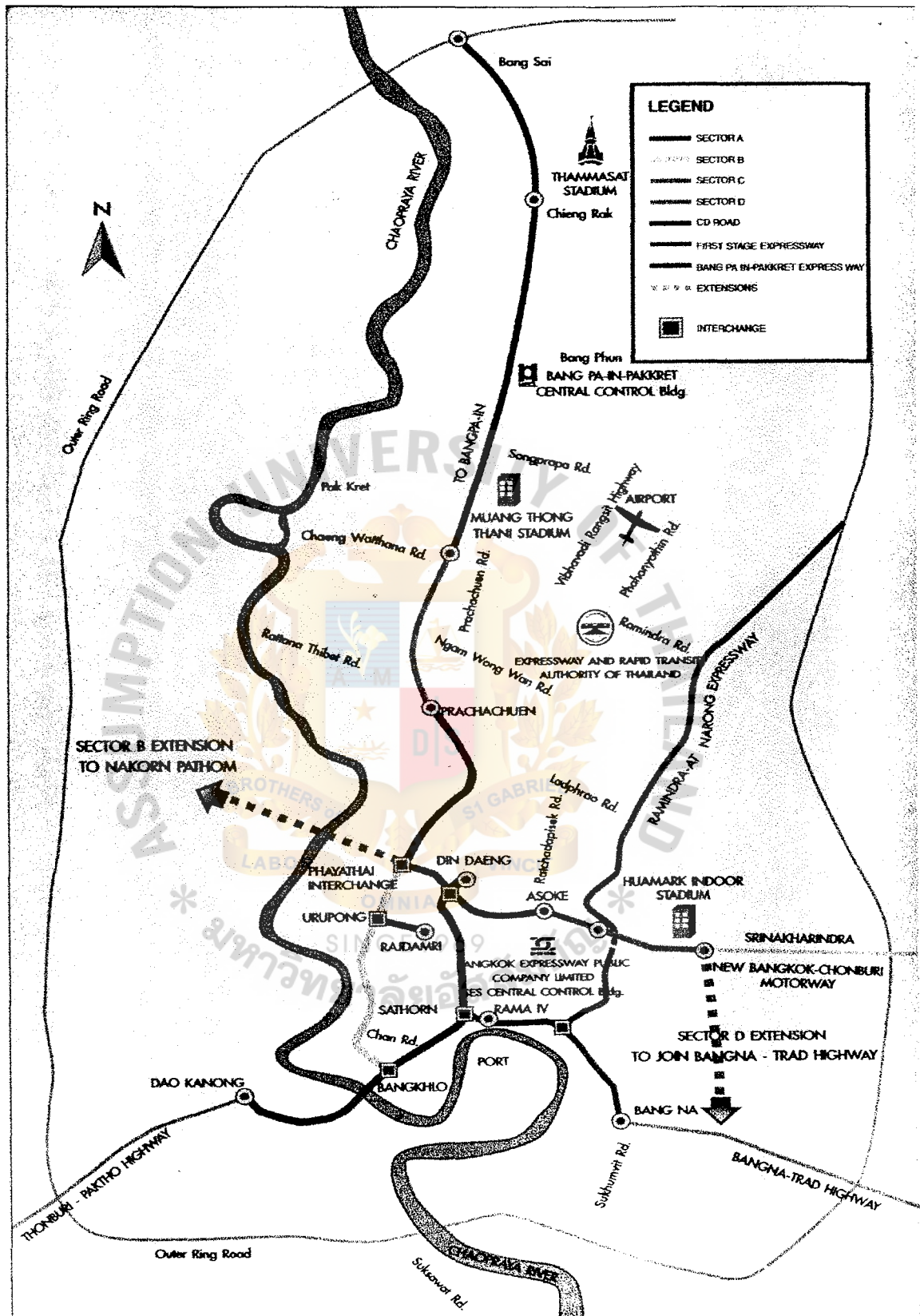


Figure 1.1. The Expressway System.

formed in the central area of Bangkok. Consequently, the traffic congestion in the downtown around Sathorn Road, Silom Road, Surawong Road, and Hualumphong has been alleviated.

Sector C1 is an 8 km.-length route from the end of Sector A at Ratchadapisek Road around Prachachuen to the north of Bangkok, Chaeng Wattana Road. The opening day of Sector A and this sector is the same day, September 2<sup>nd</sup>, 1991. This sector can efficiently lessen the number of vehicles traveling from both inbound and outbound.

Sector D is an 8-km-length route from Rama IX Road to Srinakarindra Road. This section is extended from the end of Sector A on Rama IX Road to the east: crossing Ramkamhaeng Road, and ending Srinakarinda Road. SES has been operated under the condition known as Build Transfer and Operation (BTO). Bangkok Expressway Public Company Limited (BECL) is the investor for the cost of constructional design and SES operation, but the right to possess the permanent construction and additional benefits from SES project will belong to The Expressway and Rapid Transit Authority of Thailand (ETA). Accordingly to BTO, BECL has a right to operate as well as the share from the total revenue of the First Stage Expressway System (FES) and SES in proportionate to SES contract. The 30-year period SES project has been initiated from March 1<sup>st</sup>, 1990 to February 28<sup>th</sup>, 2020. However, the contract period of this project can be prolonged up to twice for the ten-year period each.

#### 1.4.3 Ramindra-At Narong Expressway

The Ramindra-At Narong Expressway has operated for the total length 19.7 Kilometers since 1996.

From Ramindra Road to Lad Prao Road; opened to service on June 16, 1996.

From Lad Prao Road; opened to operate to service on August 22, 1996 and opened entirely on October 6, 1996.

## 1.5 Bangkok Expressway Public Company Limited Profile

Bangkok Expressway Public Company Limited (BECL) was established on December 23rd, 1987. The objectives of BECL are to implement the construction and operation of the Second Stage Expressway System (SES) and its extensions, under the contract of SES with the Expressway and Rapid Transit Authority of Thailand (ETA).

According to the contract of SES, the allocation of toll revenue of all sectors is as follows:

Table 1.1. Share Revenue between BECL and ETA.

	BECL	ETA
Urban Network (FES and SES for Sector A and B)		
(A) First 9 years from the Priority Component opening date	60%	40%
(B) Last 9 years ending 28 <sup>th</sup> February 2020	40%	60%
(C) Period between the first-9-years and last-9-year	50%	50%
Suburban Network (SES for Sector C and D)	100%	0%

And also from the contract, ETA officers operate the toll collection, while BECL has an inspector for inspecting the operation of the toll collection operators in each toll plazas. The rescue teams are composed of both the ETA officers and BECL operators. Both the toll collection job and rescue job is in the Operation division. For the maintenance of the SES in every system, such as Closed Circuits Television (CCTV), Emergency Telephone System (ETS), expressway lighting system, toll collection system is the responsibility of BECL Engineering division.



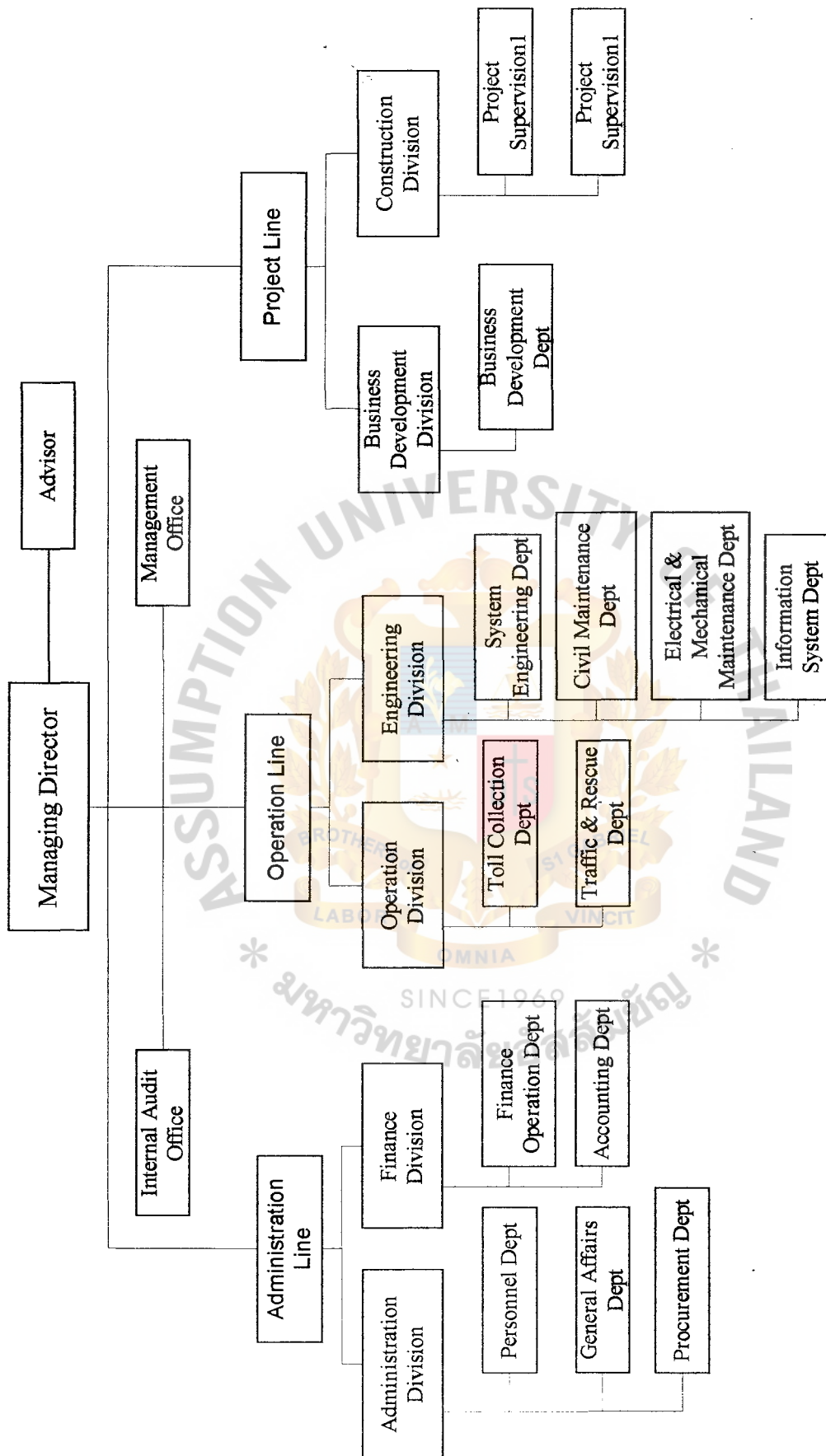


Figure 1.2. The Organization Chart of Bangkok Expressway Public Company Limited.

## II. LITERATURE REVIEW

### 2.1 Maintenance Concept

Maintenance is to keep a system or equipment working in order, and the objective of maintenance is to maintain the system while controlling cost. For the maintenance of the street lighting system is not only important to the operation but also directly to customer safety and satisfaction. Because the failure of the system cause the undesirable result to customers, managers of the maintenance department must find ways to ensure adequate output performance, while minimizing the sum of two basic costs: maintenance activity costs and system failure costs.

There are three categories of maintenance. One is breakdown maintenance (BM), another is preventive maintenance (PM), and the other is Total Productive Maintenance (TPM) (Gaither 1997) (Gotoh 1992).

#### 2.1.1 Breakdown Maintenance

Breakdown maintenance is the repairing after equipment breakdowns, malfunction or the other damages those cause to hinder normal operation. Breakdown maintenance must be repaired on the priority basis and most of BM is the emergency repairs.

To implement BM successfully, maintenance managers must achieve these objectives.

- (1) To minimize interruption of production because it affects production capacity, production costs, production quality, and customer satisfaction.
- (2) To control the cost of repairing, including repair staff, operation of repair shops.

- (3) To control the investment in replacement of spare parts, spare machines (standby machines or back machines)
- (4) To perform the appropriate amount of repairs at each malfunction.

We must have a fast repair of the malfunction to get the equipment back into production, as fast as possible, a complete overhaul, or an early replacement in some parts of the equipment.

The fundamental goal in repairs is to minimize the length of the interruptions of production and also use as less cost as possible. Figure 2.1 show the optimal point between costs if repairs and cost of interruptions to production.

#### 2.1.2 Preventive Maintenance

Preventive maintenance is the routine inspection and servicing and keeping facilities in good condition. The preventive maintenance activities are performed while the equipment is not needed for production and not yet fail. The inspection of equipment may be scheduled at a regular interval, such as monthly, weekly, or after a certain number of operating hours or other measures of usage. Figure 2.2 shows that the minimum amount of preventive maintenance causes high costs of breakdown maintenance. Maintenance managers must have preventive maintenance because they want to:

- (1) Reduce the frequency and severity of interruptions to production caused by machine malfunctions. This objective directly affected production capacity, production costs, product quality, employee and customer safety, and customer satisfaction.
- (2) Extend the useful life of production of machinery.
- (3) Reduce the total cost of maintenance by substituting preventive maintenance costs for breakdown maintenance costs.

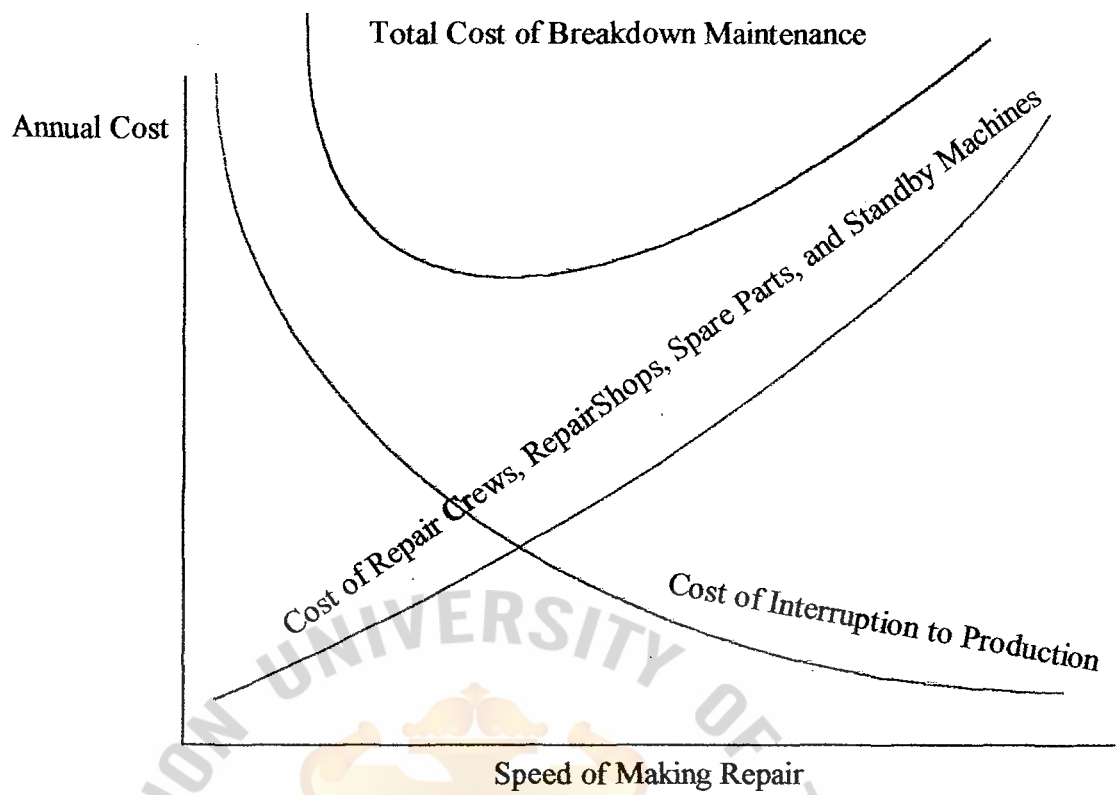


Figure 2.1. Optimum of Repair Speed in Breakdown Maintenance (Gaither 1997).

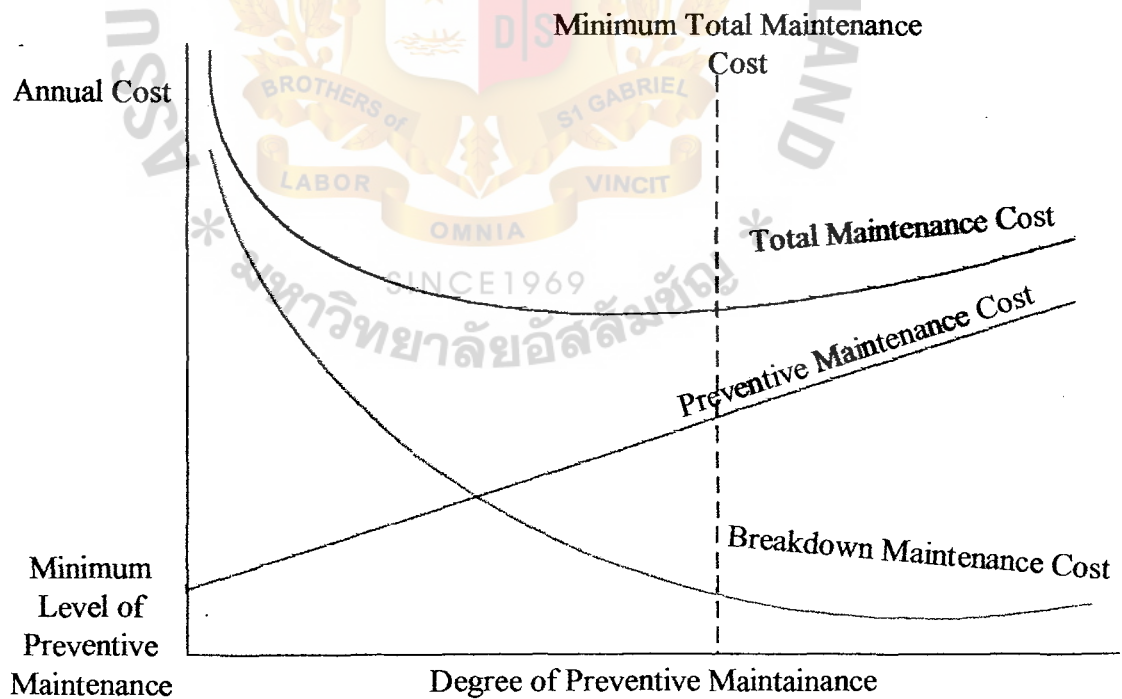


Figure 2.2. Total Maintenance Cost as a Function of Breakdown Maintenance and Preventive Maintenance (Gaither 1997).



- (4) Provide a safe working environment for workers. Worn out machines in poor operating condition do not create safety environment for the workers.
- (5) Improve quality of product by keeping equipment in proper adjustment, well serviced, and in good operation condition.

Preventive maintenance is essential in automated factories. The more automated factory, the smaller production work forces are used, and the larger preventive maintenance work forces. For an effective preventive maintenance program, detailed record must be maintained for each machine. A history of breakdown date, malfunction description, and costs of repairs are to determine how often to schedule preventive maintenance for each machine.

As the preventive maintenance effort is increased, the failure of equipment and breakdown maintenance is reduced. Conceptually, a maintenance manager seeks to find the optimal level of preventive while total maintenance costs are at minimal.

Equipment specifications, checklists and preventive maintenance schedule are needed for preventive maintenance inspections and early parts replacement decisions. These records are the important information for improving preventive maintenance. The large factory will have a large amount of information. Then it makes us keep this information in a computer.

To get the optimal level of preventive maintenance and breakdown maintenance is not simple. It is not only production costs and maintenance cost that are involved in the decision but also the production capacity, product quality, employee, customer safety and satisfaction. The more money we spend the higher expectation that we want from the maintenance. To weigh between preventive maintenance and breakdown maintenance in any firms depends on the process layout. For example, in firms that are highly automated, the breakdown can shut down all or a major part of the production

system. Preventive maintenance will be the fundamental strategy.

### 2.1.3 Total Productive Maintenance (TPM)

Total Productive Maintenance (TPM) is defined as a system of maintenance covering the entire life of the equipment in every division, including planning, manufacturing, maintenance, and all other divisions. TPM involves everyone from the top executives to the shop floor workers and promoting productive maintenance through morale-building management and small-group activities as an effort to maximize equipment efficiency. (Senju 1992)

In general, TPM consists of these six major activities, summarized in Figure 2.3.

## 2.2 Six Major TPM Activities

TPM has been implemented first time in Japanese manufacturer during the late 1970s. Now it is almost 30 years, there are various types of companies that implement this concept. To develop the TPM in any types, TPM generally consists of six major activities, summarized in Figure 2.3.

- (1) Elimination of six big losses
- (2) Planned maintenance
- (3) Autonomous maintenance
- (4) Preventive engineering
- (5) Easy to manufacture product design
- (6) Education and practice

### 2.2.1 The Elimination of Six Big Losses

In TPM, the relationship between losses and equipment effectiveness is clearly defined in terms of both the quality of the product and equipment availability. Major losses are categorized into the following six types as follows:

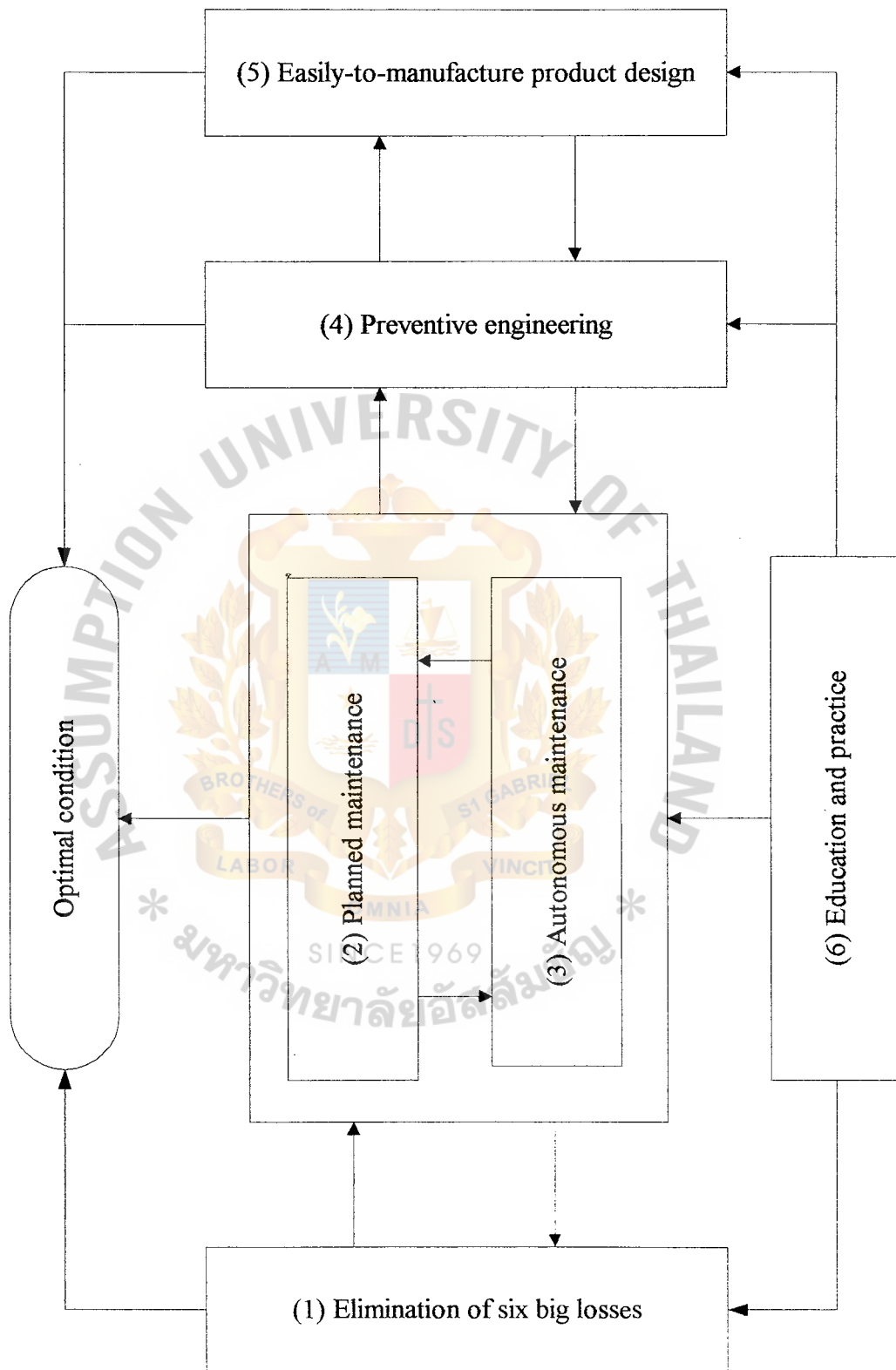


Figure 2.3. Six Major TPM Activities (Gotoh 1991).

Breakdown losses are caused by equipment defects, which require any kind of repair. These losses, for example, consist of downtime along with the labor and spare parts required fixing the equipment; their magnitude is measured by downtime.

Setup and changes in operating conditions, such as the commencement of production runs or start-up at each shift causes adjustment losses, changes in products, and conditions of operation. These losses, for example, consist of downtime, setup (equipment changeovers, exchanges of dies, jigs, and tools), start-up, and adjustment; their magnitude is also measured by downtime.

Minor stoppage losses are caused by events such as machine halting, jamming, and idling. In general, these losses cannot be recorded automatically without suitable instruments.

Speed losses are caused by reduced operating speed. Equipment cannot be operated at original or theoretical speed. Speed losses are measured in terms of the ratio of theoretical to actual operating speed.

Quality defect and rework losses are caused by off-specification or defective products manufactured during normal operation. Sometimes, they are designated as “quality defects in process” in order to distinguish them from defective products manufactured during start-up and adjustment.

Yield losses are caused by unused or wasted raw materials and are exemplified by the quantity of rejects, scraps, chips, etc. The yield losses are divided into two groups. One is the raw material loss resulting from product designs, manufacturing methods, and equipment restrictions such as runner in plastic molding. The other group is the adjustment losses resulting from quality defects associated with stabilizing operation conditions at commencement of work, changeover, etc.



### 2.2.2 Planned Maintenance

Mainly a maintenance department establishes a planned maintenance system while the production department performed the autonomous maintenance. To implement TPM system on the shop floor can be divided into four phases as shown in Figure 2.4.

- (1) Reduce variability of parts life
- (2) Extend parts life
- (3) Restore deteriorated parts periodically
- (4) Predict parts life

The maintenance department should handle these tasks:

- (1) Tasks requiring special skills
- (2) Tasks requiring special measurements
- (3) Tasks posing substantial safety risks, such as working in high places

And the other tasks to maintain the equipment, such as daily checks, lubrication, replacement of parts, and early detection of abnormalities, are performed by the equipment operators.

### 2.2.3 Autonomous Maintenance

Operators carry out autonomous maintenance activities with the technical assistance of maintenance person. Operators are trained in the seven-step program to achieve these major objectives: establish the basic equipment conditions; observe usage conditions of equipment; restore deteriorated parts through overall inspection; develop into a knowledge operator; conduct autonomously supervised operator's routine maintenance. These fundamental maintenance activities performed by operators, following rules set by the operators themselves, are called autonomous maintenance.

Autonomous maintenance is programmed so that operators supplement activities to establish the planned maintenance system is carried out by the maintenance department. To reduce variability of part life, the first of four phases, needs the collaboration between the production and maintenance department.

#### 2.2.4 Preventive Engineering

Many problems that occur during the commissioning period for starting up a new production line must be resolved. Early equipment management entails a sequence of well-managed corrective actions by eliminating the causes of troubles in both the commissioning period, and the earlier period. Instances include conceptual design, basic design, detailed design, procurement and fabrication installation, test runs, commissioning, and turnover.

Moreover, a trade-off on conflicting equipment attributes regarding function and other factors must be examined. This review may encompass reliability, maintainability, economy, operability, and safety. It may provide for the discovery of solutions to problems and the improvement of future equipment on the basis of past experiences. This kind of effort is referred to as preventive engineering and includes all of the preventive activities taken in each stage, from plant engineering and includes all of the preventive activities taken in each stage, from plant engineering, procurement, and construction, to turnover as a whole.

#### 2.2.5 Easy-to-Manufacture Product Design

Despite the shortening life cycle of goods, the diversified needs of consumers must be satisfied in terms of product attractiveness, design, quality, and price so that competitiveness may be maintained in the world wide marketplace. As a result, these challenges in manufacturing, which were once difficult to solve with only the shop floor's efforts, can now more easily be eliminated if ease in manufacturing and quality

assurance are built in at the product design stage. Not enough experience, however, has been accumulated yet in this area, and it will continue to occupy an increasingly important position in TPM.

### 2.2.6 Education

The activities just mentioned are not to be carried out by external TPM specialists. Although current internal capabilities may not be sufficient to achieve the goals of TPM, all participating employees must proceed with activities themselves to master the necessary knowledge and skill by taking every available opportunity for education in these regards. No aspect of TPM can ever be achieved without suitable education in the seven-step program of autonomous maintenance which is an important contribution to the successful implementation of a TPM system in the production department

### 2.3 Autonomous Maintenance Program

Autonomous maintenance activity is aimed at both equipment and human. For equipment, autonomous maintenance orderly established shop floor where operators may detect any departure from normal conditions. For human, it fosters the development of knowledgeable operators. While the term “knowledgeable operators” mean that the operators should be able to sense when the unusual conditions occur before it breaks down. To achieve the autonomous maintenance, Zero breakdown and Zero defects, there are seven steps in 4 phases of the development in the autonomous maintenance development program (Gotoh 1992).

#### 2.3.1 First Phase: Reduce Variability of Parts Life

The first phase of the autonomous maintenance program is the starting point of the autonomous maintenance and also of all maintenance activities. The first phase consists of three steps of activities that are the remedial action to restore deteriorated parts in equipment.

(1) Initial cleaning

Initial cleaning refers to the overall cleaning of equipment until it is thoroughly free from all kinds of contamination by:

- (a) Thoroughly cleaning equipment and its surroundings.
- (b) Remove any foreign substances and all unnecessary materials that negatively influence quality and equipment.
- (c) Detect and remedy any deteriorated and defective areas in equipment.
- (d) Write upcoming issues onto four lists, which are defective area list, question list, source of contamination list, and difficult area list. The four lists are shown in Figure 2.5.

(2) Countermeasures to sources of contamination

Contaminants must be eliminated at their sources, or be prevented from dispersing by the suitable modification. To remedy the sources of contamination, we must reduce the sources of contamination generation and modify the methods of equipment to make it easier to clean. To minimize the cost and avoid duplication in the operator effort, the priorities are mentioned below:

- (a) Remedy sources of contamination. Try to remove the generation of contaminants at the sources. If it cannot be removed, prevent the contaminants from dispersing to minimize routine cleaning tasks.
- (b) Remedy for a difficult cleaning area. Targets are to mime the cleaning time and make the cleaning task easier. If we fail to by act (a), operators clean equipment manually, and then improve the cleaning method and tools. If it still fails, the final alternative is to modify the equipment.



Date	Defective areas	Countermeasures	Taken by			Op. in charge	Sch'd date	Comp'd
			Prod.	Maint.	P.Eng			

(1) Defective area list.

Date	Question	Answer or countermeasures	Possed by	Sch'd date

(2) Question list.

Date	Where	What	Found by

(3) Sourceor contamination list.

Date	Difficult work area	Found by

(4) Difficult area list.

Figure 2.5 The Four Lists.

- (c) Report the experience to the plant engineering and product design department.
- (3) Cleaning and lubricating standards

This step is taken place to identify and remedy the defective areas that stemmed from lack of lubrication, especially in difficult lubricating areas. Then, with this standard operators will achieve higher reliability and maintainability. The sub steps of step 3 are:

- (a) Conduct education for lubricating.
- (b) Develop overall lubrication inspection.
- (c) Establish lubrication control system.
- (d) Set cleaning and lubricating standards.

#### 2.3.2 Second Phases: Extend Parts Life

The second phase of the development is remedial actions by overall inspection in order to attain Zero Breakdowns. To conduct overall inspection which is the forth step of the development in the seven steps has the step below:

- (4) Overall inspection
  - (a) Conduct education and practice.
  - (b) Develop overall inspection
  - (c) Remedy difficult inspection areas in equipment to reduce required time.
  - (d) Set tentative inspecting standards.

#### 2.3.3 Third Phase: Restore Deteriorated Parts Periodically

This phase is to get Zero Breakdowns. After implementing the overall inspection, breakdowns of equipment will be reduced dramatically. Autonomous maintenance

standard then will be implemented in the monthly basis. The following are the sub steps of the fifth step in seven steps program.

(5) Autonomous maintenance standard

- (a) Set autonomous maintenance standards and schedule to finalize activities focused on equipment.
- (b) Faithfully conduct routine maintenance in accordance with standard.
- (c) Move forward aiming at zero breakdowns.

2.3.4 The Forth Phase: Predict Parts Life

This phase, operators' effort to achieve process quality assurance promotes to attaining of Zero Defects. Then to maintain the autonomous maintenance the PDCA cycle will be used for continuous improvement.

(6). Process Quality Assurance

In TPM, process quality assurance refers to the proper maintenance of a piece of equipment or process, with the objective to attain Zero Defects.

The sub steps of this step are:

- (a) Remedies focused on quality results
  - (1) Identify process quality in connection with each process.
  - (2) Review process quality and evaluation criteria.
  - (3) Improve equipment and work method.
  - (4) Classify the outflow defective products.
- (b) Remedies focused on quality causes.
  - (1) Identify the quality conditions for each process or piece of equipment.
  - (2) Review the quality conditions based on the five criteria for quality assurance, which are quality conditions is quantitative or

clear, easy to set, resists variation, and a change in quality condition is easy to detect and restore.

(3) Improve equipment and work methods based on the same five criteria.

(4) Review process quality, quality conditions, inspecting standards and so on.

(c) Establish process quality assurance system

This step is the actual final step of the autonomous maintenance program, operators review numerous standards prepared in the previous step, and then the standards will be applied on the shopfloor.

(7) Autonomous Supervision

After implementing the autonomous maintenance till finishing the step 6, there is a large risk of deterioration of the TPM system, slowly but persistently. To maintain the established TPM level and go forward we have:

(a) Maintaining activity

(b) Improving activity

(c) Passing on activity

## **2.4 Quality Improvement Tools**

Quality improvement tools are a collection of production methods and management concepts and practices that can be used throughout the organization. The tools involve the uses of statistical signals to identify sources of variation, to improve performance, and to maintain control of production at higher quality levels. It can be applied to any area where work is done. The statistical concepts that are applied in the tools are very basic and can be learned by everyone in the organization. Production

workers must know how these tools apply to their specific jobs and how it can be used to improve their output. Supervisors must be aware of the ways these tools can be used in their sections, be prepared to help their production workers utilize the tools, and be receptive to suggestions for improvements from the workers who are effectively using the tools. Managers must know how these tools can be used to improve quality and productivity simultaneously. They must create and maintain a management style that emphasizes communication and cooperation between levels and between departments. Their goal must be to develop a working atmosphere that maximizes everyone's contribution to the production of competitive products.

The basic quality improvement tools are becoming the core for both quality improvement and quality maintenance. Important decisions from optimum adjustment time decisions made at the shop-floor level to process change decisions made by management involve the tools. Statistical methods and techniques, such as control chart analysis of a process or its output are now being used extensively to make economically sound decisions. The process analysis leads to appropriate actions for achieving and maintaining a state of statistical control and for reducing process variability.

#### 2.4.1 The Basic Tools for Quality Improvement

- (1) Flowchart: The entire process is diagrammed from start to finish with each step of the process clearly indicated. All involved in the process should know their position(s) on the flowchart and at least a partial upstream and downstream trace from their position(s). All should know who their suppliers are and who their customers are in the process flow.
- (2) Pareto chart: The number of occurrences or the costs of occurrences of specific problems are charted on a bar graph. The largest bars indicate the major problems and are used to determine the priorities for problem solving.



- (3) Checksheet: A data-gathering sheet is prepared that categorizes problems or defects. Checksheet information may be put on a Pareto chart or, if a time analysis is included, may be used to investigate problem trends over time.
- (4) Cause-and-effect diagram: A problem (the effect) is systematically tracked back to possible causes. The diagram organizes the search for the root cause of the problem. A similar diagram can be used to systematically search for solutions to a problem.
- (5) Histogram: A bar graph shows the comparative frequency of specific measurements. The shape of the histogram can indicate that a problem exists at a specific point in a process.
- (6) Control chart: A broken –line graph illustrates how a process or a point in a process behaves over time. Samples are periodically taken, checked, or measured, and the results plotted on the chart. The charts can show how the specific measurement changes, how the variation in measurements changes, or how the proportion of defective pieces changes over time. Control charts are used to find sources of special-cause variation (variation that is caused by specific, fixable occurrences), to measure the extent of common-cause variation (variation that is inherent in the processes), and to maintain control of a process that is operating effectively.
- (7) Scatter plot: Pairs of measurements are plotted on a two-dimensional coordinate system to determine if a relationship exists between the measurements.

#### 2.4.2 Pareto Chart

The Pareto chart, a bar graph that ranks problems in decreasing order of frequency, was adapted to quality control by Joseph M. Juran, a noted authority and

leader in the resurgence of quality in U.S. industry. The Pareto principle, credited to Italian economic factors, such as wealth, follow an inverse relationship. Pareto discovered 80% of the wealth in his country in the early 1900s was concentrated in 20% of population. Dr. Juran discovered that the 80%-20% split also occurs in quality control. Eighty percent of scrap is caused by 20% of the problems, and 80% of the dollar loss caused by poor quality is concentrated in 20% of the quality problems. Of course, the 80%-20% split is not exact; the percentages vary quite a bit. The important outcome of a Pareto chart is its assessment of process problem priorities. It separates the vital few problems from the trivial many. Another plus for the Pareto chart is its elimination of receptivity, the tendency to overestimate the importance of the most recent problem. The sample of Pareto chart is shown in Figure 2.6.

When a problem analysis is done for a Pareto chart, data are gathered that give the number of occurrences for each problem and the dollar loss associated with it. When all the data have been gathered, percentages can be tabulated for both the number data and the dollar loss data.

The procedure for making a Pareto chart is as follows:

- (1) Decide on the subject of the chart. Usually the need to set data priorities suggests the use of a Pareto chart. Determine what data are to be collected.
  - (a) Where is the problem?
  - (b) What are the categories?
  - (c) Where should the data be gathered?
  - (d) Should they come directly off a line?
  - (e) Should they come from a bin of nonconformity's that have accumulated in the specified time period?

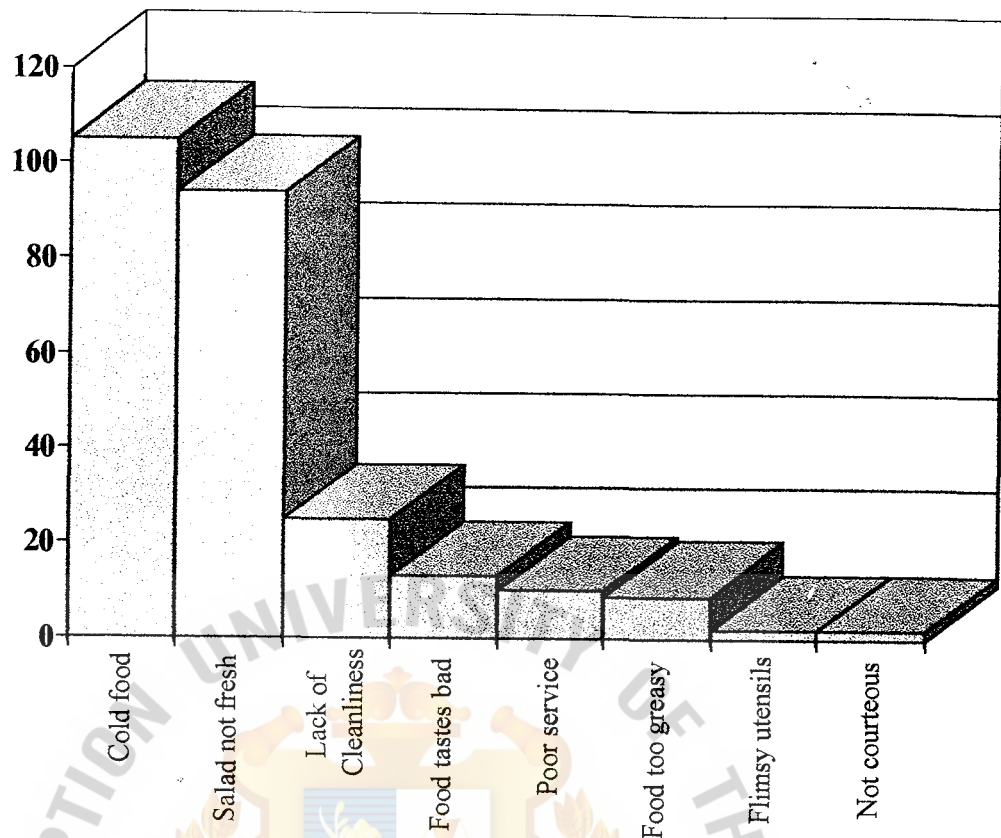


Figure 2.6. Pareto Diagram.

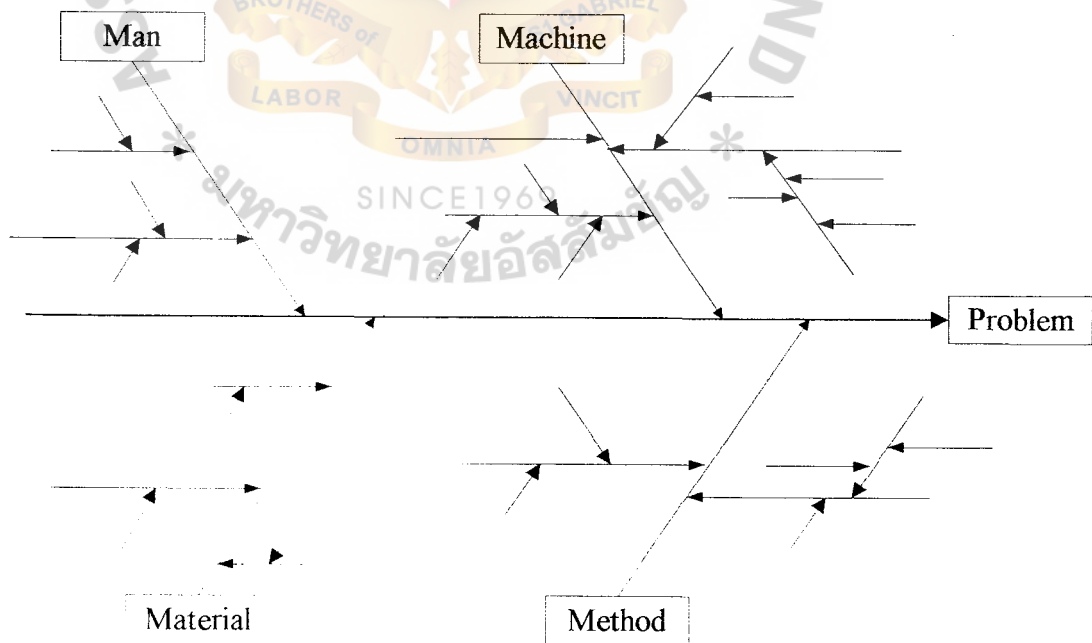


Figure 2.7. Cause and Effect Diagram.

- (2) Be sure the period for all the categories is the same: Use the number of nonconformity per hour, per shift, or per week.
- (3) What type of chart is needed? Should you track the numbers in each category? A cost chart is usually included with either a numbers chart or a percentage chart.
- (4) Make a table by gathering the data and tallying the numbers in each category. Find the total number of nonconformity and calculate the percentage of the total in each category. Make a cost of nonconformity's column and a cumulative percent column.
- (5) Arrange the table of data from the largest category to the smallest.
- (6) Set the scale and draw a Pareto chart.
- (7) Include all pertinent information on the chart. Are the categories clear? Has the time frame been specified?
- (8) Analyze the chart. The largest bars represent the vital few. The cumulative percentage line levels off and emphasizes the trivial many. If the chart does not show a vital few, check to see if it is possible to recategorize for another analysis.

#### 2.4.3 Cause-and-effect Diagrams

The cause-and-effect diagram is a useful tool in a brainstorming session because it organizes the ideas presented. It is sometimes called a fishbone diagram because of its shape or an Ishikawa diagram after Professor Ishikawa of Japan, who first used the technique in the 1960s. The basic shape of the cause-and-effect diagram is shown in Figure 2.7.

The diagram is format for logically aligning the possible causes of a problem or effect. A basic way to organize the “ribs,” or main categories, is to assign them the four-

M's methods, machines, measurement, and materials. As the ideas are presented, they are inserted as the "bones," or possible causes of the effect, in the appropriate category. The bones can be subcategorized as causes of a cause presented. The subdividing continues until the root cause to the problem is found. There may not always be a single root cause, but at least a few potential root causes will surface, and a decision for action can be made.

The four M's are generally used as the initial main categories for a cause-and-effect diagram. Other categories specific to the particular process may be added, if the team decides they are important. Environment is one example of a possible other category. It may be considered important enough to be a main category of problem causes, or it may be a subcategory in any or all of the other categories, depending on the process being analyzed.

#### 2.4.4 Flowcharts

A flow chart is a diagramming tool that is used to trace a process from start to finish. It can be used for an entire complicated process or for some segment of the process. Different symbols specify what is being done to the product as it progresses from the input stage to the output stage of the process. When problems exist within a process or process segment, the problem-solving team should clearly understand what is being done to the product at the various stages in the process. A completed flowchart should make the step-by-step procedure within the process clear to the entire team.

In the problem-solving sequence, making a flowchart of the process is usually one of the first steps. Brainstorming is very useful in developing the flowchart, and using it ensures that important process details are not omitted.

Completed flowcharts can be helpful in finding the root causes of the problems. Brainstorming sessions with a flowchart in hand allow the team to trace the product



back and forth in the process until the cause of the problems is found or until several good candidates for the root cause have been uncovered, leading the way to further data gathering and analysis.

To make a flow chart as in Figure 2.8, first step is to brainstorm for steps in the process and for logical process sequence. In the first step, each team member writes down one specific activity that they are involved in or aware of. The next step is to arrange all activities in the first step.



### III. RESEARCH METHODOLOGY

#### 3.1 Overview of Expressway Lighting System

The expressway lighting system of the Second Stage Expressway System (SES), called EM1, is one of the systems that the Electrical and Mechanical Department (E&M) in the Engineering division of Bangkok Expressway Public Company Limited (BECL) has responsibility to maintain.

The expressway lighting system, EM1 contains the street lighting as shown in Figure 3.1 and Figure 3.2, Gantry sign lighting in Figure 3.3, and emergency lighting at terminal approach as shown in Figure 3.4. The electricity that supplies to all lighting in EM1 is supplied from electrical distribution and control cabinet, called Supply Pillar, SP. In the SES, there are about 150 Supply Pillars that installed in four sectors, Sector A, B, C, and D. A Kilowatt-hour meter and Safety Switch are installed on poles at ground, as shown in Figures 3.5 and 3.6 respectively. All supply pillars are installed adjacent to the expressway.

For the elevated expressway lighting system, Supply Pillars are installed in the baskets that bolted to the structure of the expressway as shown in Figure 3.7. The other Supply Pillars are installed at ground, Figure 3.8, because they are used for supplying electricity to lighting system at ramps or front of the toll plazas.

Figure 3.9 shows the sample of supply pillar load schedule and Figure 3.10 shows the electrical diagram of supply pillar. The electricity for all lighting system is supplied from Metropolitan Electricity Authority MEA through Kilowatt-hour meter, Safety switch, and Supply Pillar as shown in Electrical Wiring Diagram, Figure 3.10.

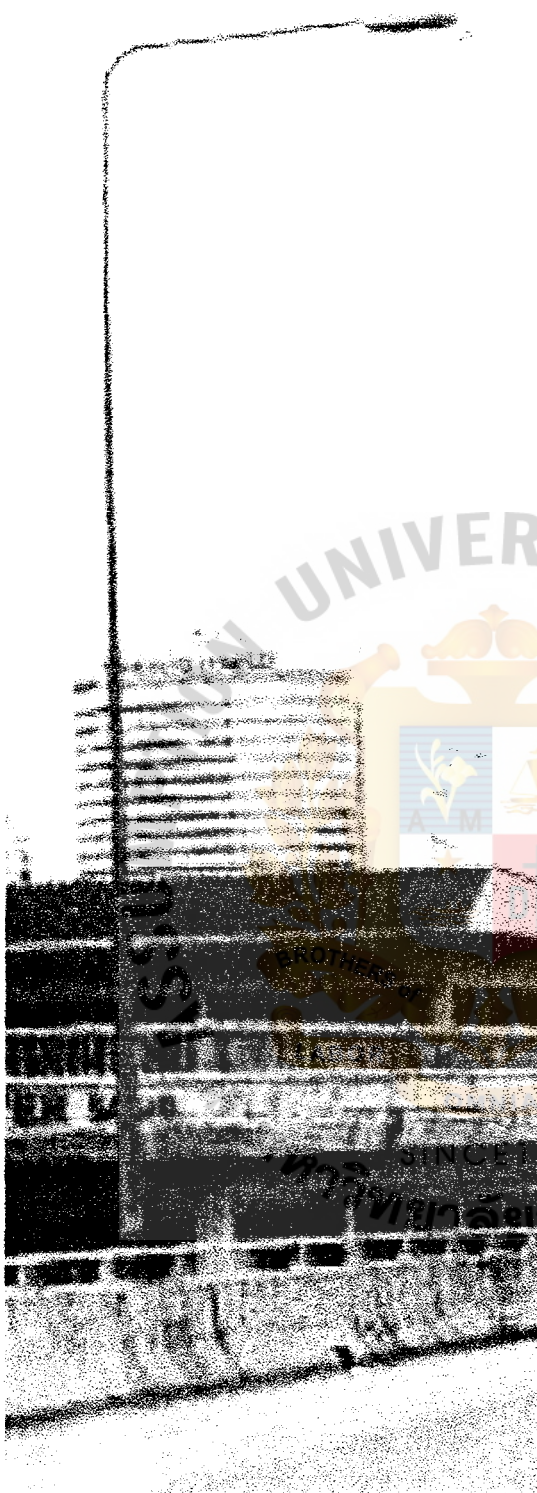


Figure 3.1. Street Lighting.



Figure 3.2. Street Lighting Near a Toll Plaza.

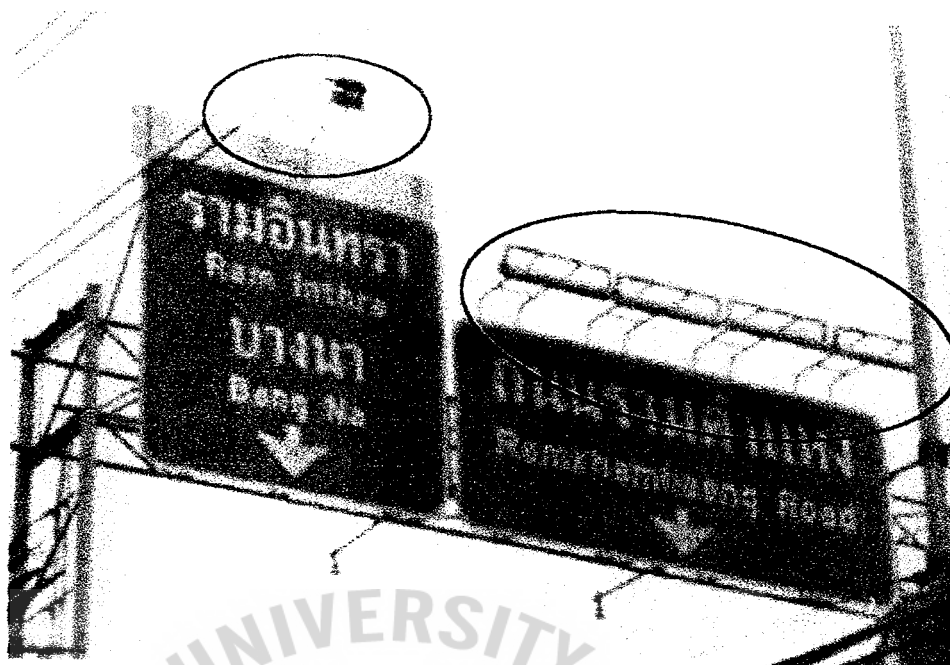


Figure 3.3. Gantry Sign Lighting.

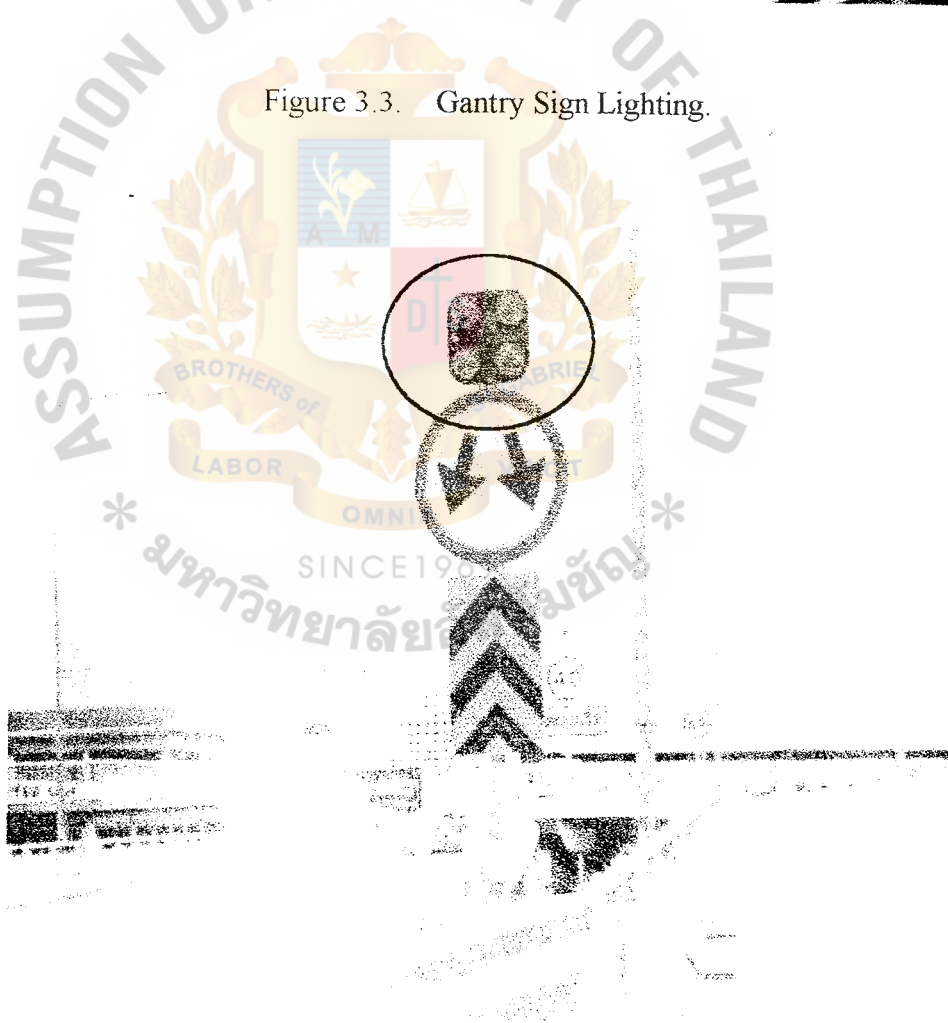


Figure 3.4 Emergency Lighting at a Terminated Approach.



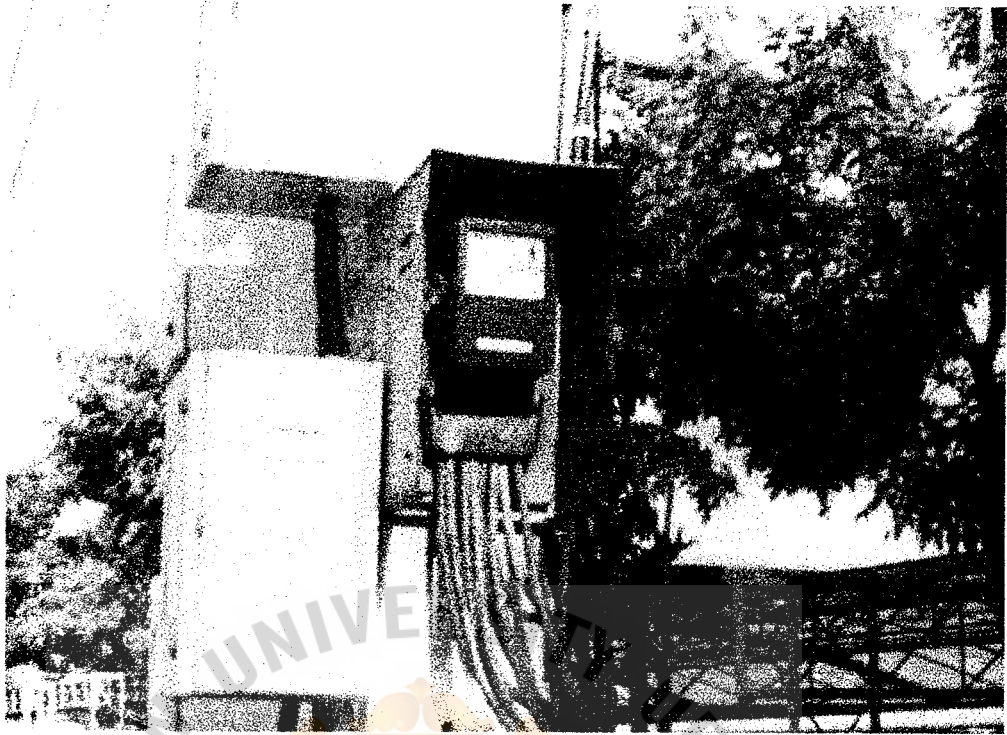


Figure 3.5. A Kilowatt-hour Meter.



Figure 3.6. A Safety Switch





Figure 3.7. A Supply Pillar in a Basket.



Figure 3.8. A Supply Pillar on Ground.

PROJECT: SECOND STAGE EXPRESSWAY SYSTEM, SECTOR D

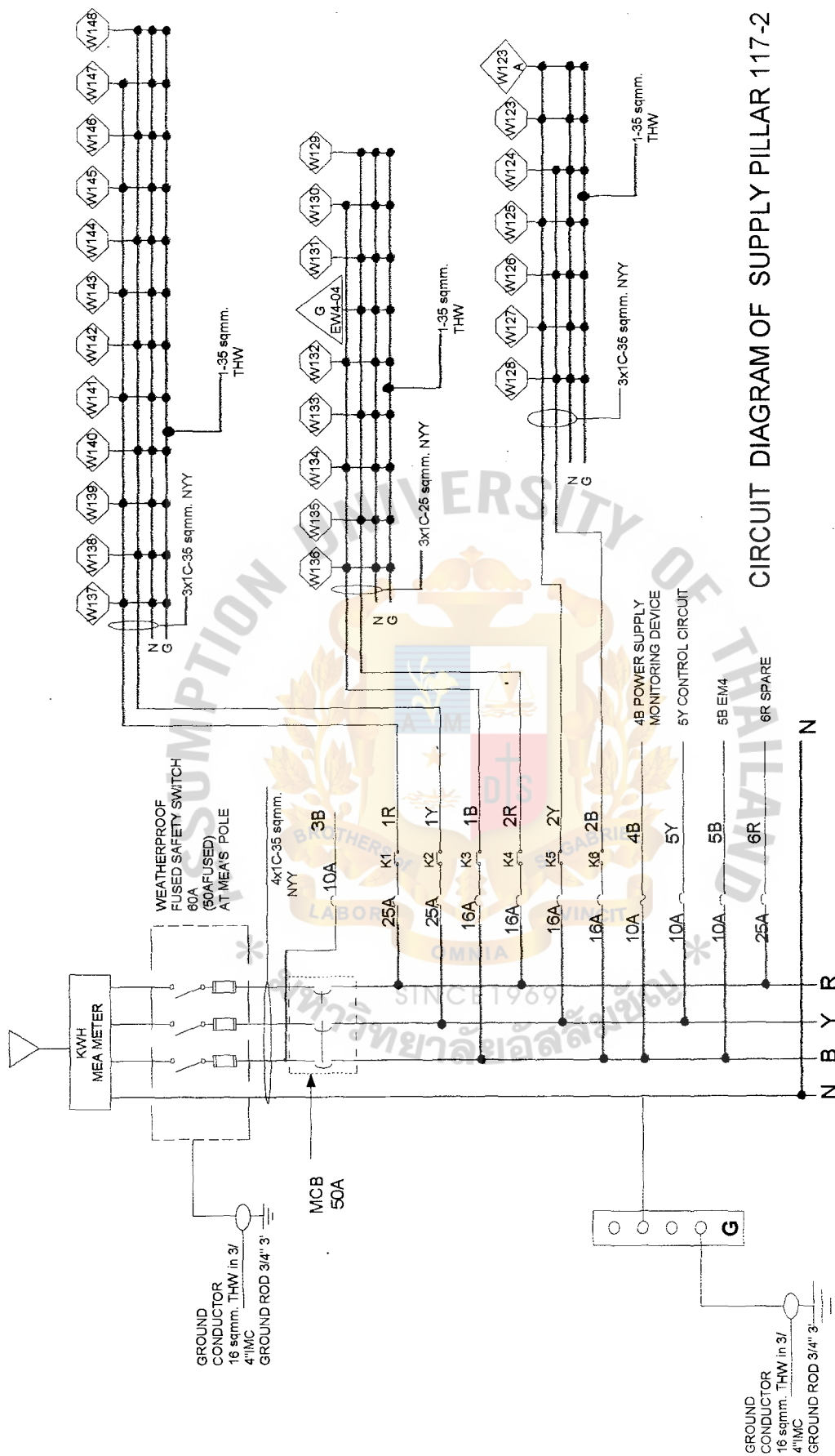
LOAD SCHEDULE

SP 126-1

MOUNTING: BASKET

CCT. No.	Description	Connected Load (A)			Protective Device	Cable	
		R	Y	B		Type	Size (sqmm.)
1R	STREET LIGHTING	13.64	-	-	25	NYY	50
1Y	STREET LIGHTING	-	13.64	-	25	NYY	50
1B	STREET LIGHTING	-	-	13.64	25	NYY	16
2R	STREET LIGHTING	13.64	-	-	25	NYY	16
2Y	STREET LIGHTING	-	20.45	-	32	NYY	50
2B	STREET LIGHTING	-	-	20.45	32	NYY	50
3R	SP. LIGHTING & OUTLET	2	-	-	10	THW	2.5
3Y	-	-	-	-	-	-	-
3B	-	-	-	-	-	-	-
4R	MONITORING	2	-	-	10	THW	2.5
4Y	-	-	-	-	-	-	-
4B	-	-	-	-	-	-	-
5R	CONTROL CIRCUIT	2	-	-	10	THW	2.5
5Y	-	-	-	-	-	-	-
5B	EM4	1.45	-	-	16	THW	2.5
6R	EM4	-	0.46	-	16	THW	2.5
6Y	SPARE	-	-	-	16	-	-
6B							
TOTAL		34.73	34.55	34.09	80	NYY	35

Figure 3.9. Load Schedule of a Supply Pillar.



CIRCUIT DIAGRAM OF SUPPLY PILLAR 117-2

Figure 3.10. Circuit Diagram of a Supply Pillar.

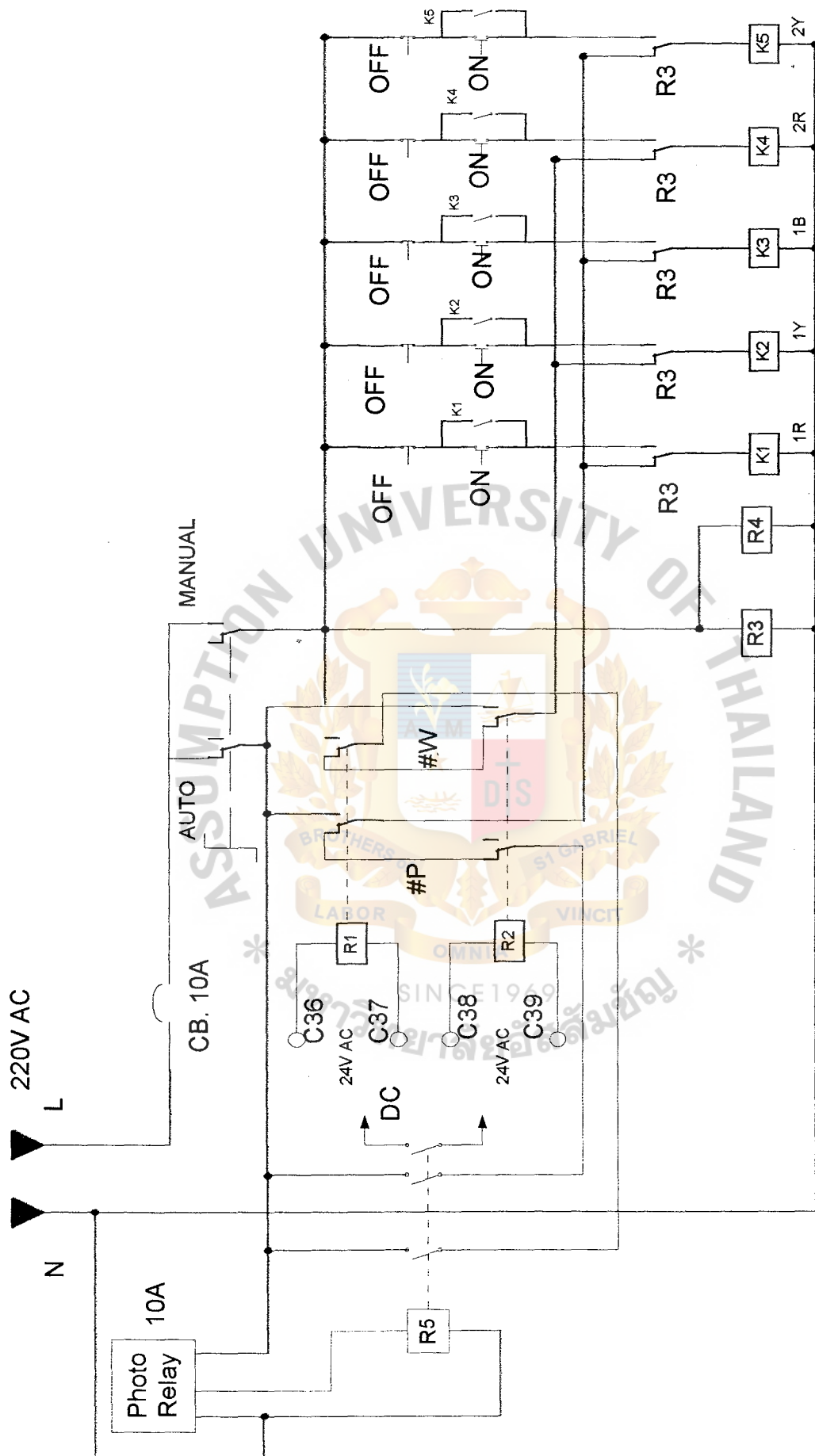


Figure 3.11. Control Diagram of a Supply Pillar.



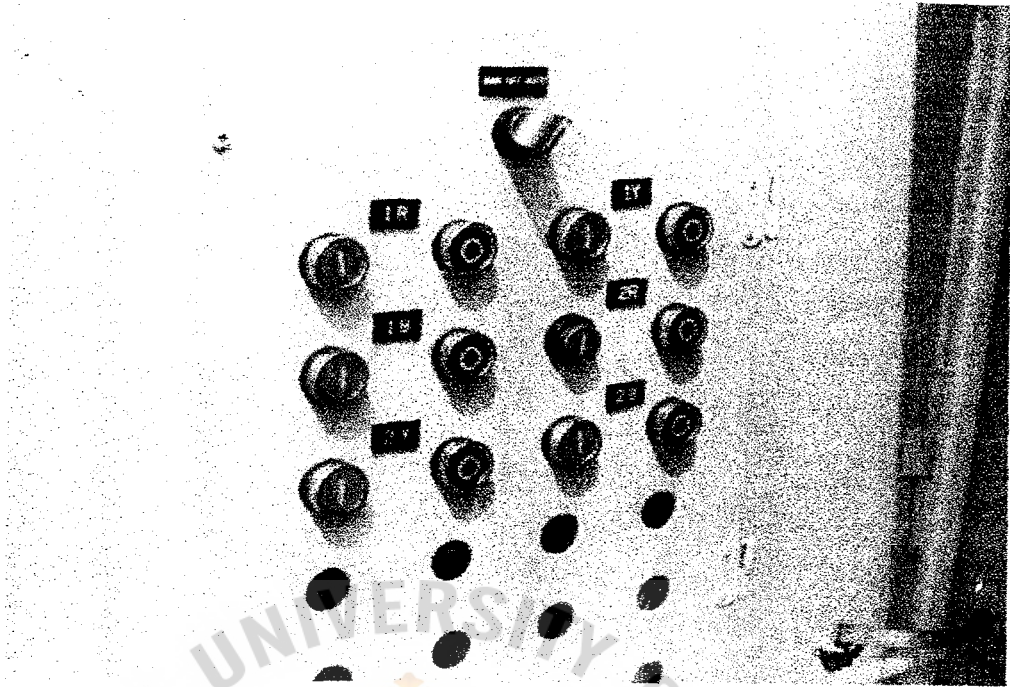


Figure 3.12. A Front Panel of a Supply Pillar.



Figure 3.13. A Photo Sensor at a Supply Pillar



The expressway lighting of SES, as shown in Figures 3.1, 3.2, 3.3 and 3.4 are controlled in three modes, as shown in the control diagram, Figure 3.11, the control diagram of a Supply Pillar. Figure 3.12 is Figure of a control panel at a Supply Pillar. From Figure 3.12, it shows the selector switch at the top of the panel has 3 modes of lighting control, 'off', 'manual', and 'auto' mode.

'Manual' mode is the mode that the expressway lighting system is controlled directly by push 'on' (green) and 'off' (red) buttons at the back of Supply Pillar (SP) front panels as shown in Figure 3.12. And the expressway lighting of the Supply Pillar will not respond to the Remote Monitoring system.

'Auto' mode is the mode that the expressway lighting is controlled by photo relays and the remote monitoring system. The photo relay, as shown in Figure 3.13, will turn the expressway lighting on when the light that they get is less than the minimum daylight level. And the photo relay will turn the expressway lighting off when the light that it gets is more than the minimum daylight levels.

'Off' mode, all the expressway lighting of the Supply Pillar will be off. The lighting system also does not response to all push buttons, Photo relay, and the Remote Monitoring system.

### **3.2 The Steps of TPM Plan**

Step1: the Existing Workflow of Repair Request

The expressway lighting of SES is the system that the Electrical and Mechanical Maintenance Department (E&M Dept.) has responsibility to maintain. The expressway lighting of SES, called EM1, is the autonomous system that 'on' and 'off' directly by photo sensors because it is set in the 'auto' mode. In most Supply Pillars, the Monitoring system is not used because of the costs of maintenance compared to the benefit that the customers and company get.

The Rescue and Traffic Department (RT Dept.) is the department in the Operation Division that has the responsibility to all the services in the expressway. RT Dept. is then the requester of the expressway lighting system because the department will have the staff to check all routes, every day and night. And the department also has staffs at the control center that can check every system from the Closed Circuit Television System, CCTV. The staffs are also able to get the information directly from the expressway users, our customers, from phones. The workflow of the repair request is in Figures 3.14 and 3.15. Figure 3.14 is the repair request workflow in the normal case, while Figure 3.15 is the repair request workflow in the emergency case.

Normally, the normal case is that few street lighting luminaries in any areas are black out. For the emergency case, the repair must be taken as soon as possible. For instance, the expressway lighting is black out for 1 Kilometer. Table 3.1 shows the list of the repair requests in both the normal cases and the emergency cases.

Table 3.1. List of Repair Requests.

Request Description	Priority
One lamp of street lighting is black out.	Normal
One circuit of one supply pillar is black out.	Emergency
All lighting of one supply pillar is black out.	Emergency
The Lantern and pole is damaged.	Emergency
Draw pit cover is damaged.	Normal
One lamp of emergency light at terminated approach is black out.	Normal
Two lamps of emergency light at terminated approach are black out.	Normal
Three lamps of emergency light at terminated approach are black out.	Normal
All lamps of emergency light at terminated approach are black out.	Normal

The repair request, as shown in Figure 3.16 (the Repair Request Form), in the normal case is sent from the requester, rescue and traffic department (RT Dept.), and the E&M staff will set all requests in the repair schedule.

The significant difference between two workflow is that in the normal case, E&M Dept. will start the job after it gets the repair request, whilst the emergency case E&M Dept. will receive the repair request (paper) after the repairs are done.

Step2: Collecting the Repair Request for a period.

In this project we collect the repair request for 9 months, from June 1999 till February 2000 as in Table A1 of Appendix A. From the data, the summation of the EM1 repair request is shown in Table 3.2.

Table 3.2. Summation of EM1 Repair Request from June 1999 till February 2000.

Request Description	No. of Jobs
One lamp of street lighting is black out.	211
All lighting of one supply pillar is black out.	60
One circuit of one supply pillar is black out.	39
Two lamps of emergency light at terminated approach are black out.	20
One lamp of emergency light at terminated approach is black out.	14
The Lantern and pole is damaged.	14
Draw pit cover is damaged.	12
All lamps of emergency light at terminated approach are black out.	11
Others	36
Total	366

From the above table, the large numbers of request in the period is 'One lamp of street lighting is black out.' Figure 3.17, Pareto diagram shows the number of repair request and the cumulative percentage, shown that the summation of five request groups

บริษัท ทางด่วนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)

ใบแจ้งงาน / ซ่อม

เลขที่.....

ถึงแผนก..... วันที่..... เวลา.....

งานที่แจ้ง.....

รายละเอียด.....

.....

สถานที่..... วันที่เสีย..... เวลา.....

เฉพาะกรณียานพาหนะ

ทะเบียนรถ/หมายเลขรถ..... ประเภทรถ..... ยี่ห้อ.....

สังกัดแผนก..... เลขไมล์ที่แจ้งซ่อม..... สถานที่จอด.....

งานสุดท้ายที่แจ้งซ่อม.....

แจ้งเมื่อวันที่..... เลขไมล์ที่..... เสร็จเมื่อวันที่.....

( ) ขอให้ดำเนินการด่วน ! เหตุผล.....

( ) แจ้งทางวิทยุติดตามตัวเมื่อวันที่..... เวลา.....

ผู้แจ้งซ่อม..... ผู้ตรวจสอบ..... ผู้จัดการ.....

วันที่..... วันที่.....

การตรวจสอบ..... เลขที่รับ..... วันที่..... เวลา..... ผู้รับ.....

สาเหตุที่พบ.....

.....

( ) ส่งซ่อมที่ผู้ / ร้าน..... วันที่ออกไปส่งซ่อม.....

( ) ยังไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจาก.....

.....

รับทราบลงชื่อ..... วันที่..... ผู้ซ่อม..... วันที่.....

การดำเนินการ.....

.....

ผลการดำเนินการ.....

รายการเบิกวัสดุ / อะไหล่.....

.....

ระยะเวลาดำเนินการ เริ่มวันที่..... เวลา..... แล้วเสร็จวันที่..... เวลา.....

ผู้ตรวจรับ..... ผู้ซ่อม..... ผู้ตรวจสอบ..... ผู้จัดการ.....

วันที่..... วันที่..... วันที่..... วันที่.....

หมายเหตุ กรณียานพาหนะที่ส่งซ่อมแล้วไม่กลับมาให้แผนก E&M ตรวจสอบและ / หรือไม่ได้ส่งคืนอะไหล่เก่า

แผนก E&M ขอสงวนสิทธิ์ในการซ่อมครั้งนี้เพื่อพิจารณาก่อน

Figure 3.16. The Repair Request Form.

are about 80% of the total. Whereas only the numbers of the request is not yet shows which request group is the first priority or the vital group to eliminate or reduce.

In addition, Time to Repair (TTR) is another factor that will be considered. TTR for each request is calculated from the difference between the time that E&M staffs receive the request and the time that E&M staffs repair the equipment. For example the request date is October 2<sup>nd</sup>, 1999 and E&M fixed it on October 7<sup>th</sup>, 1999. TTR is 5 days, approximately. Or the request that is on 17.30 of October 2<sup>nd</sup>, 1999, then the equipment is fixed on 23.30 of the same day. TTR is 6 hours. Using TTR instead of number of repair requests will get Table 3.3.

Table 3.3. Summation of EM1 TTR from June 1999 till February 2000.

<b>Request Description</b>	<b><math>\Sigma</math>TTR</b>
One lamp of street lighting is black out.	1201
The Lantern and pole is damaged.	231
All lighting of one supply pillar is black out.	124
Draw pit cover is damaged.	81
Two lamps of emergency light at terminated approach are black out.	76
One circuit of one supply pillar is black out.	67
One lamp of emergency light at terminated approach is black out.	53
All lamps of emergency light at terminated approach are black out.	21
Others	210
<b>Total</b>	<b>2064</b>

Table 3.3 and Pareto diagram in Figure 3.18, shows the summation TTR of repair request. Figure 3.18 also shows the cumulative percentage of  $\Sigma$ TTR. If TTR is the only addition factor, the repair work that is vital is 'One lamp of street lighting is black out.'



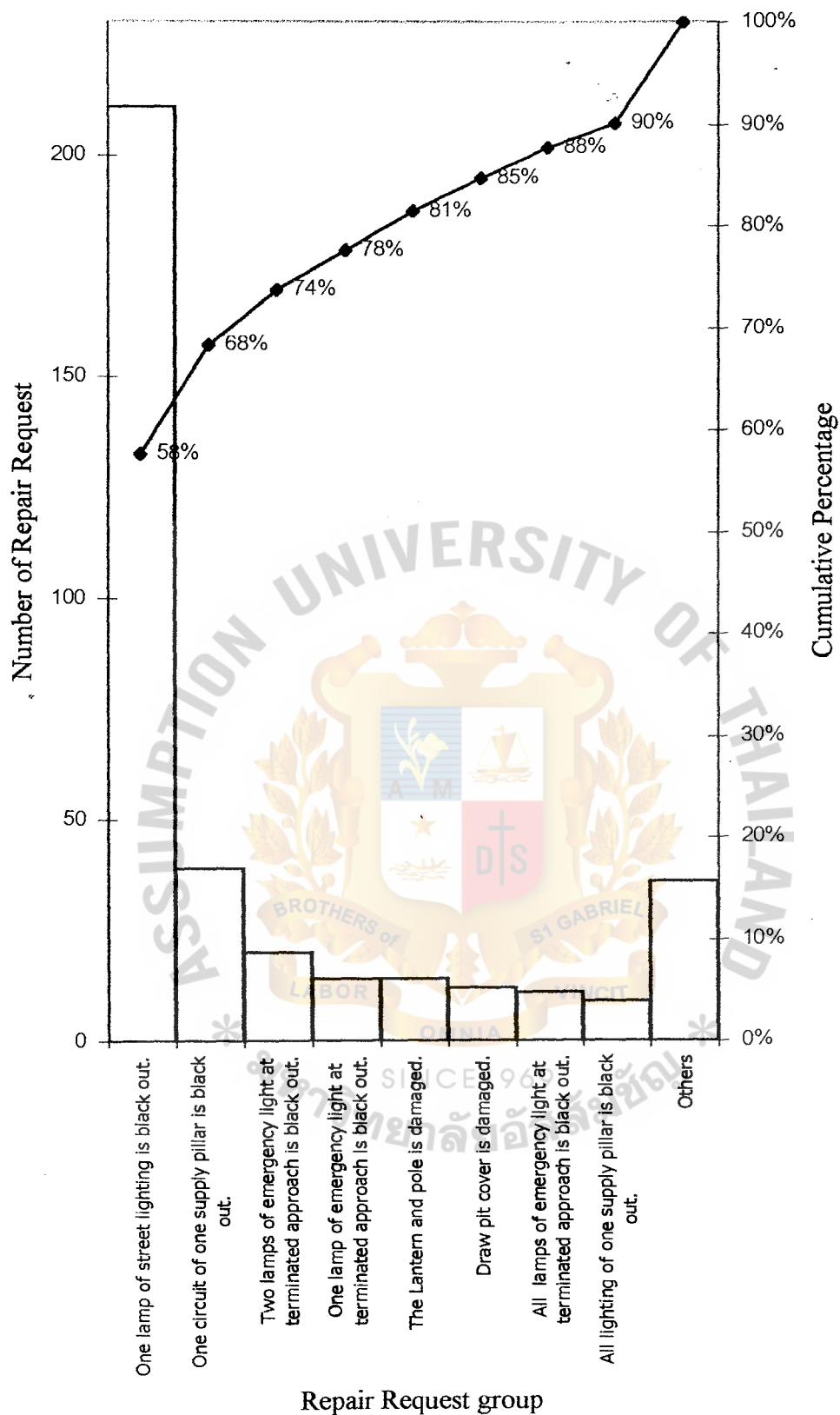


Figure 3.17. The Pareto for the Number of Repair Request and Their Cumulative Percentage.

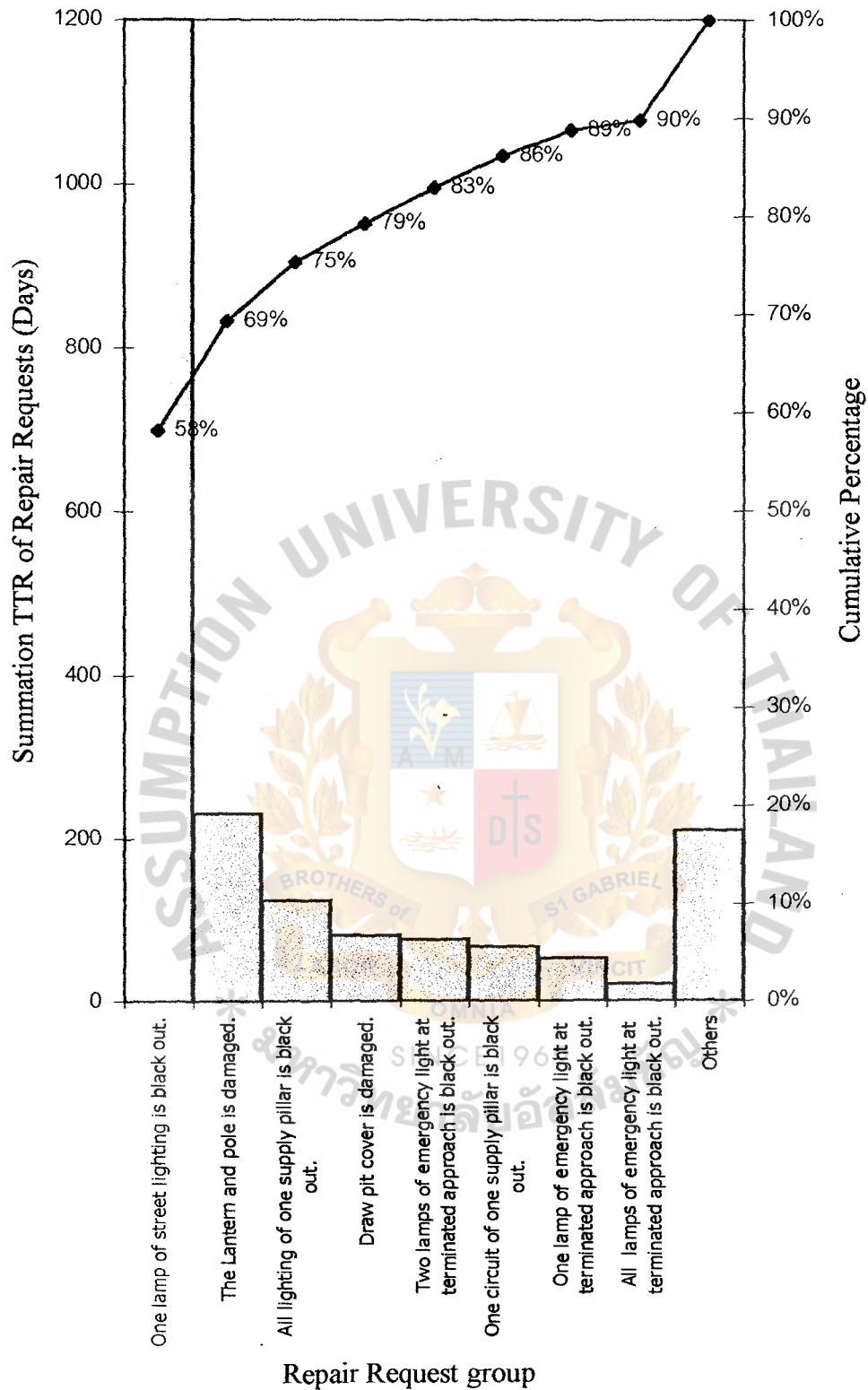


Figure 3.18. The Pareto for the Summation TTR of Repair Requests and Their Cumulative Percentage.

Moreover  $\Sigma TTR$ , the priority or the quality to the customers must be considered.

Table 3.4 locates the priority of each EM1 job and the multiplier of each job is set by using the approximate number of lighting that black out in each request group.

Table 3.4. The Severity Impact of Each EM1 Repair Group.

Request Description	Priority	Impact
All lighting of one supply pillar is black out.	1	30
One circuit of one supply pillar is black out.	2	8
All lamps of emergency light at terminated approach are black out.	3	5
Two lamps of emergency light at terminated approach are black out.	4	2
One lamp of street lighting is black out.	5	1
The Lantern and pole is damaged.	5	1
Draw pit cover is damaged.	5	1
One lamp of emergency light at terminated approach is black out.	5	1
Others	5	1

After using the multiplier or the severity impact in Table 3.4 to  $\Sigma TTR$  of each repair request in Table 3.3, the result is Table 3.5.

Table 3.5. The Vital EM1 Repairs.

Request Description	Impact* $\Sigma TTR$
All lighting of one supply pillar is black out.	3720
One lamp of street lighting is black out.	1201
One circuit of one supply pillar is black out.	536
The Lantern and pole is damaged.	231
Two lamps of emergency light at terminated approach are black out.	152
All lamps of emergency light at terminated approach are black out.	105

Table 3.5. The Vital EM1 Repairs. (Continued)

Request Description	Impact* $\Sigma$ TTR
Draw pit cover is damaged.	81
One lamp of emergency light at terminated approach is black out.	53
Others	210

Table 3.5 is then plotted in Pareto diagram in Figure 3.19. However there are a lot of repair groups in the expressway lighting system; there are only two repair groups that are vital to the expressway lighting (EM1). The first two repair groups in Figure 3.19 which are:

- (1) All lighting of one supply pillar is black out.
- (2) One lamp of street lighting is black out.

The cumulative percentage the first three groups, as in Figure 3.19 is about 87% of the total. Then to reduce or eliminate the breakdowns in the expressway lighting system is to reduce or eliminate these groups.

Step3: Find the root causes.

To find the root cause of the three repair groups, we use Pareto diagrams to analyze two repair groups, 'One lamp of street lighting is black out' and 'All lighting of one supply pillar is black out.' The first and second repair groups are the first two priority, that are chosen to be reduced because of the most effect to the customers of the expressway, as shown in Figure 3.20.

Tables 3.6 and 3.7 show the causes of two repair groups. Both tables show quantity of each cause and also summation of Time to Repair for each cause. Every cause of every repair must be solved in the preventive action. Whereas this project will

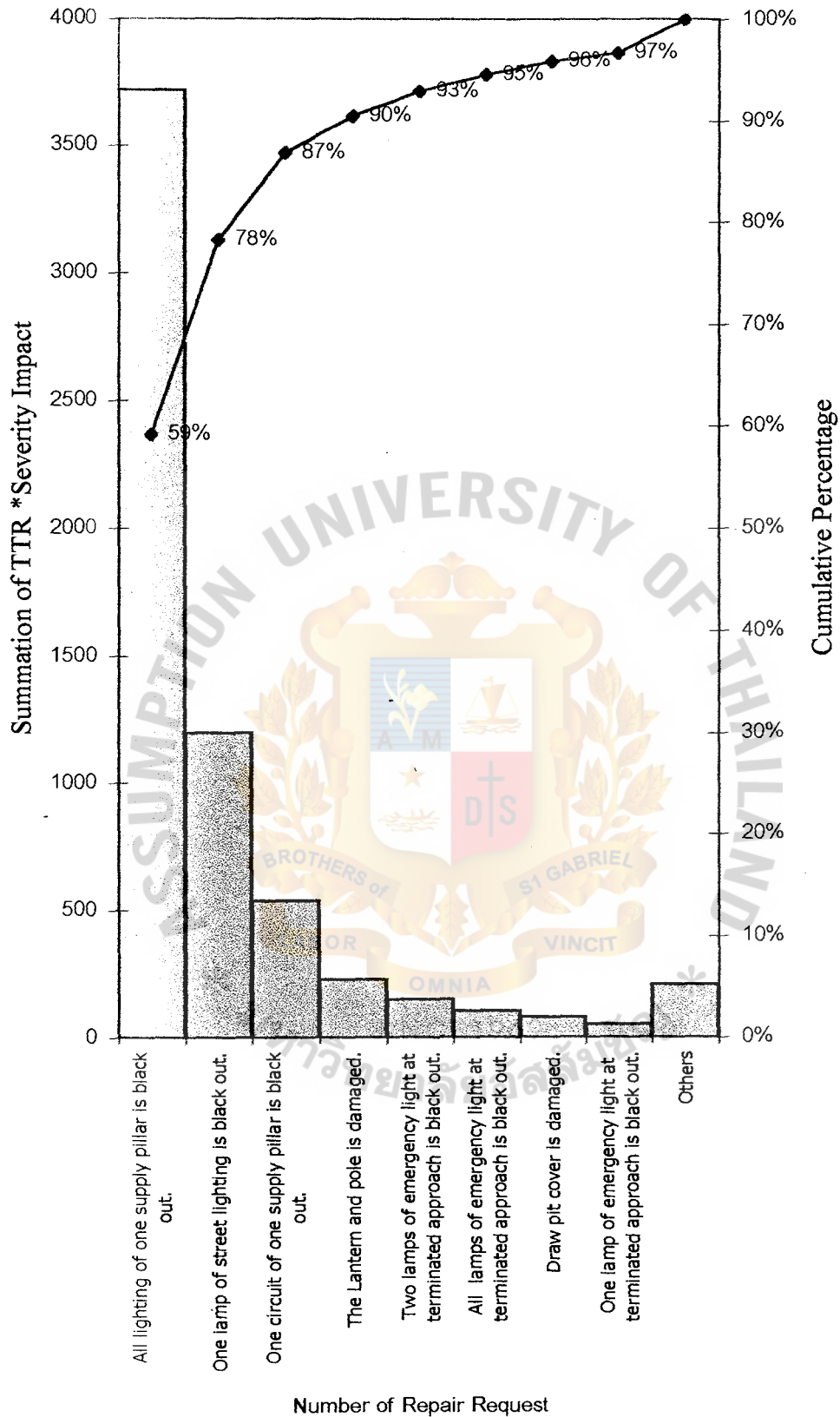


Figure 3.19. The Pareto for the Vital Repair Group of EM1.



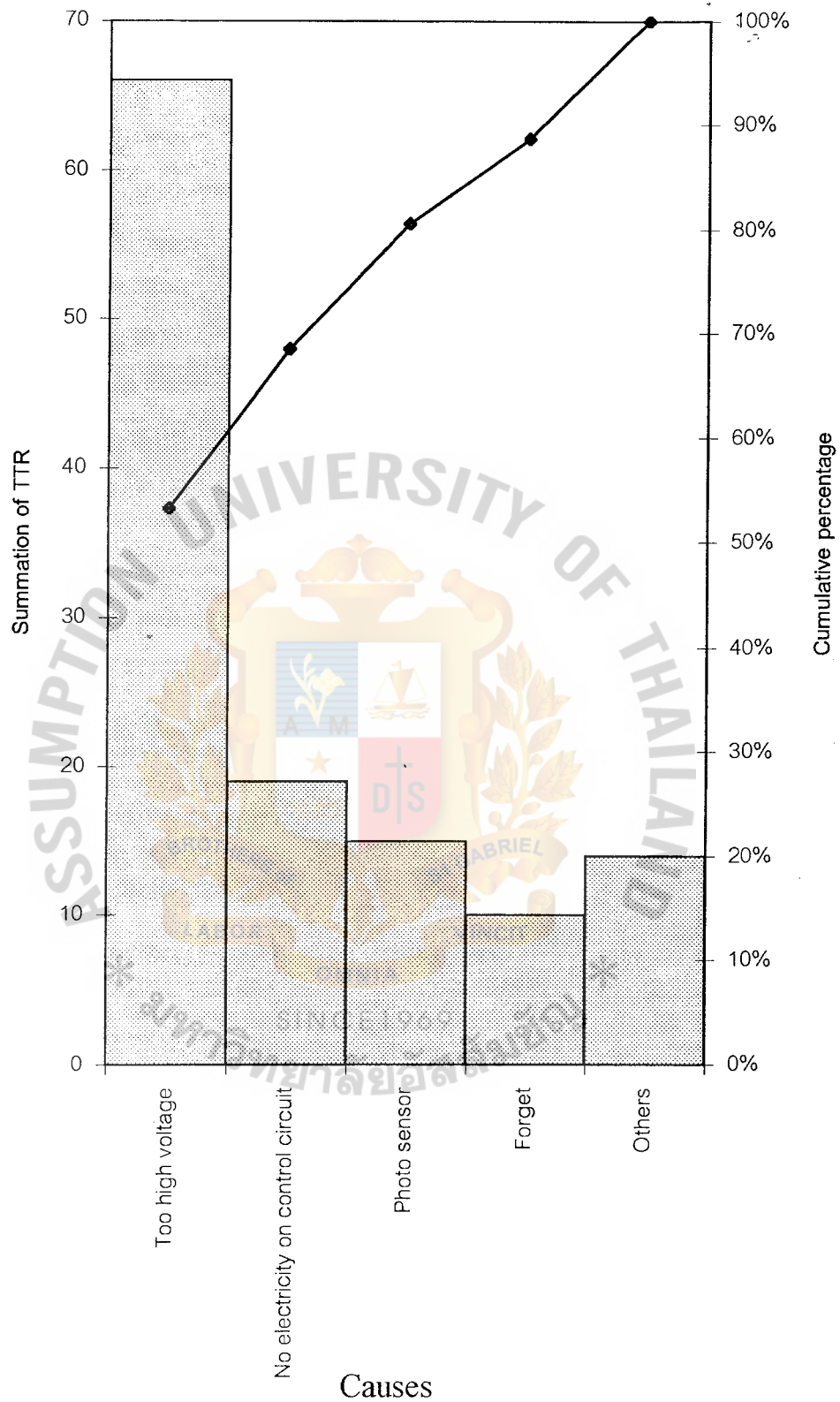


Figure 3.20. Causes of 'All Lighting of One Supply Pillar Is Black Out.'

scope only in the majority causes which are the first two significant repair groups as shown by Pareto diagrams in Figures 3.21 and 3.22.

All causes of every job group must be eliminated as in the zero breakdown concepts in the TPM, whereas the project will reduce the TTR and improve the quality of the services. Then this project will reduce only the majority causes of two majority repair groups.

Table 3.6. Cause of 'All Lighting of One Supply Pillar Is Black Out.'

Cause of 'All lighting of one SP is black out'	No. of Repairs	$\Sigma$ TTR
Too high voltage	10	66
No electricity on control circuit	18	19
Photo sensor	7	11
Forget	15	10
Others	10	18
Total	60	124

From Pareto diagram in Figure 3.20, the reduction of TTR in the first group, all lighting of one Supply Pillar is black out, to reduce the summation of TTR in this group we will eliminate the 4 causes of this repair group.

- (1) Too high voltage from MEA: The too high incoming voltage that supplied from MEA or PEA to supply pillars causes the damage to all magnetic contactors in the supply pillars. 90% of the supply pillars that have the problem is the supply pillar in the new stage.

To eliminate this cause, the department coordinated with the MEA and PEA to change the voltage tap at the distribution transformers that supply electricity to the supply pillars.

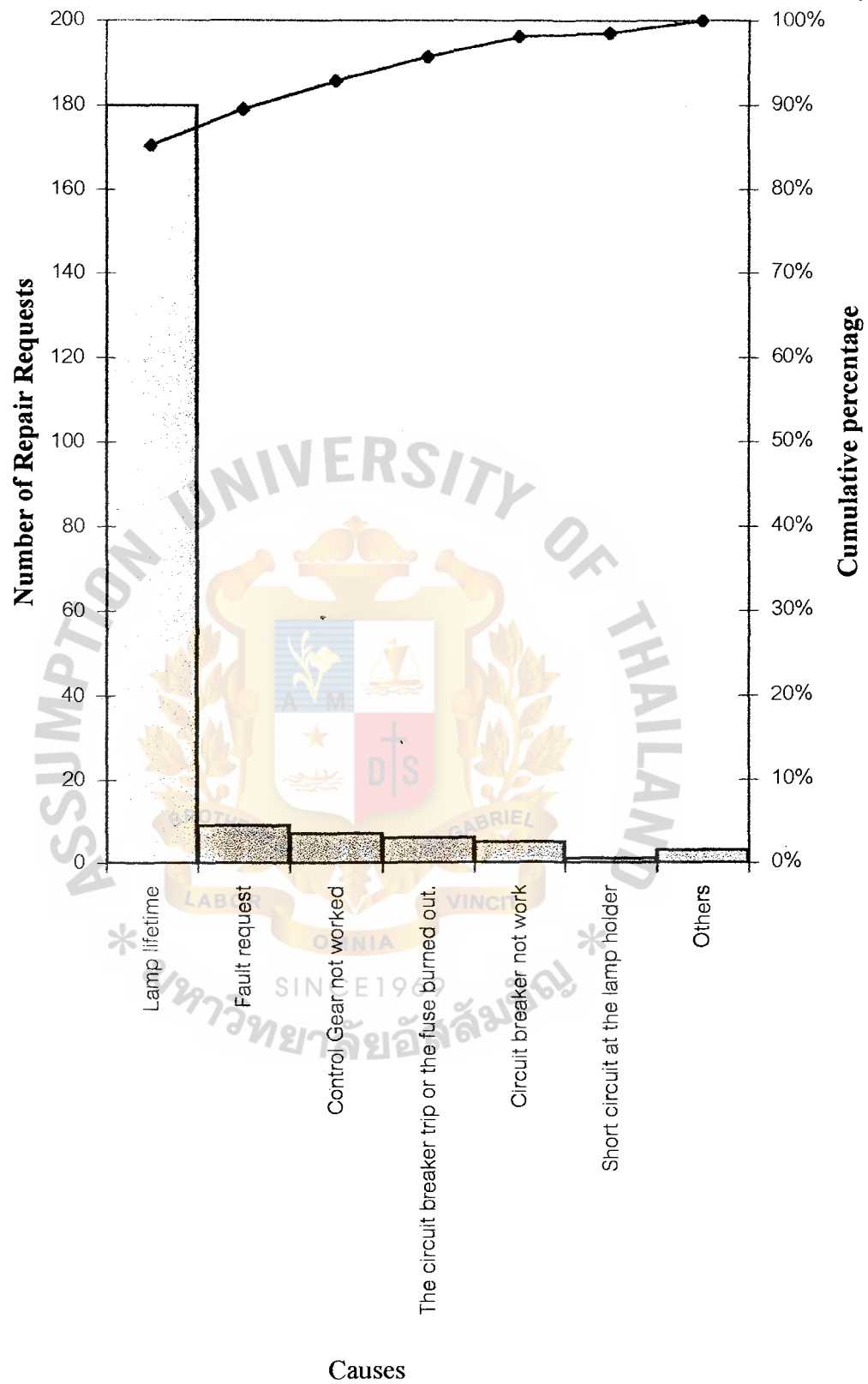


Figure 3.21. Causes of 'One Lamp of Street Lighting Is Black Out.'

But some transformer that MEA or PEA cannot change the tap at the transformers because the reduction of voltage will effect some customers that in the end of electricity distribution line. The E&M department has to install the over/under-voltage relay in the control circuit. The relay will open the control circuit if it detects that the incoming voltage is more that 250 V, the specification of coil in the magnetic contactor is 250 V.

- (2) No electricity on control circuit: As in the control circuit, Figure 3.11, the black out or brown out in the control circuit will cause the black out in all lighting that is supplied from the supply pillar.

To improve the performance of the service, we will only install the control relay to switch the circuit. For example, if the control circuit is in phase A, after the black out in phase A, the relay will switch the control circuit to phase B.

Although some circuits of the supply pillar is still black, in this case the street lighting that uses phase A is black, it is better to make some lighting work.

- (3) Photo sensor: A photo sensor is the sensor that signals to the magnetic contactors to close circuits then the street lighting will on or off. The photo sensor, as shown in Figure 3.13, has a limited life. In the first place, the photo relays that are installed by the contractor are worked for more than 5 years.

But there is the attempt to reduce the cost of material, the selection of the photo sensor then takes place from about one manufacturer to the new one. The costs reduce to about 50%, but the period that the photo sensor can

be used, is reduced to about 1-2 years. After we found that, the E&M department turns back to use the one that we used in the first place.

- (4) Forget to reset to auto mode after any corrective or preventive actions. As shown in Figure 3.11, the auto mode is the mode that the street lighting will work autonomously. But there are the problems that the EM1 teams have responsibility for both preventive and corrective maintenance.

To prevent the events from happening, the installation of a buzzer is made at a selector switch for every supply pillar. The buzzer will not activate only when the selector switch is in auto mode.

From Table 3.7, Pareto diagram, Figure 3.21, more than 80% of causes of 'one lamp of street lighting is black out' is the lamp. To decrease the number of repair request, the early replacement is one of the ways.

Table 3.7. Cause of 'One Lamp of Street Lighting Is Black Out.'

Cause of One lamp of street lighting is black out.	No. of Repair	Percentage
Expired lamp life	180	85.3%
Fault request *	* 9	4.3%
Control Gear not worked	7	3.3%
The circuit breaker trip or the fuse burned out.	6	2.8%
Circuit breaker not work	5	2.4%
Short circuit at the lamp holder	1	0.5%
Others	3	1.4%
Total	211	100%

The existing way, the E&M department will wait for the repair requests and also wait for the lamps to breakdown. To do the early replacements for the expressway lighting system, we need the specification of the lamps that are used.



The lamps that are used in the expressway lighting, are High-Pressure Sodium lamps. They have the expected life or Time between Failure (TBF) about 50,000 hours. From TBF of the lamps, we can plan to renew the lamps when it is close to the TBF. Most manufacturers give the Lumen Maintenance curve, as shown in Figure 3.22. The curve shows the relation of the illumination of the lamp and its life. From the curve, if the illumination of the lamps reduces to 90%, the lamp will be burnt out in 25% of its expected life. If the expected life or TBF of the lamp is 50,000 hours, the lamp will burn out in 12,500 hours approximately.

If the E&M department plans to have the early replacement, the E&M department has to test the illumination of the expressway periodically. Today illumination must be compared to the illumination of the expressway lighting when the lamp is new which we will use the information from the hand over date.

As the illumination standard of the expressway lighting system, the average illumination is 25 lux. And the average illumination of the expressway in the hand over date is 31 lux. Although the lamps are about to burn out, the illumination of the expressway lighting is not less than 85%. Then the illumination of the expressway lighting is about 26 lux, which is beyond the standard. Then the reduction of the illumination will not be the factor for the early replacement.

The measurement in the illumination of the expressway lighting then can tell the rest time for the lamps. Then the E&M department can plan for the early replacements and also estimate the costs. With the early replacements, the repair requests in the second group will be reduced compared to the existing system. To minimize the costs of maintenance, the early replacement can both reduce and increase costs. The degree of the early replacement, the cost of breakdown maintenance (repair costs) and the customer satisfactions are the factors that we have to do more research on.

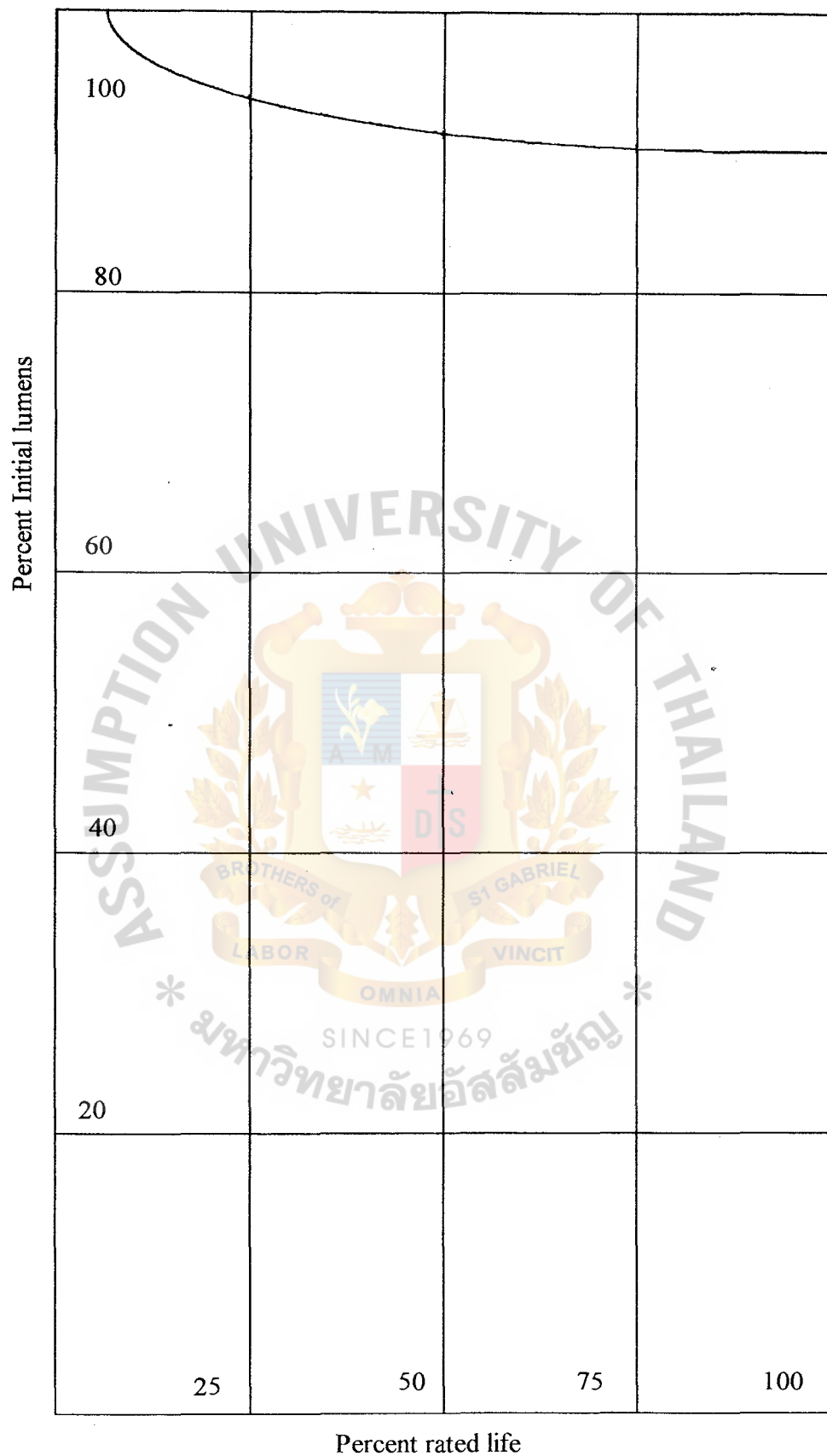


Figure 3.22. Typical Lumen Maintenance Curve.

## IV. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

### 4.1 Conclusions

There are about 3 concepts of maintenance. One is the breakdown maintenance (BM), another is preventive maintenance (PM), and the last one is Total Productive Maintenance (TPM). While BM is to repair after a machine breakdowns and PM is to prevent it from breakdowns, TPM is much more than BM and PM. BM allows breakdown to occur and PM is to minimize breakdown by maintenance teams. But TPM goal is to achieve zero defects and zero breakdowns by not only the maintenance teams but also operators.

Before TPM implementation, reducing Time to Repair is to reduce breakdowns in the expressway lighting system and improve the service quality. To reduce Time to Repair (TTR) in the Expressway Lighting, we use the quality improvement tools and the maintenance concept to identify the significant problem, prioritize them and then solve them.

First step of all the collecting the repair data is the key for this project. Because only the correct input, can lead us to the correct output. Then using the Pareto diagram is to prioritize the repair. While Time to Repair (TTR) and the severity impact that is used to multiply TTR are also helpful for prioritize the repairs groups.

After the repairs are prioritized, only two repair groups are chosen to reduce. The Pareto diagram still be used to prioritize the causes of the repairs, while the cause of the repair is the information that we also gain from the repair requests. Then with each cause there is the solution to solve but for the lamp life.

With the solutions, the first repair group should be reduced not less than 80%. While the second priority repair group will have to do more analysis to make sure that

will maximize the quality of services and also minimize the costs. Because most causes of the second priority is the lamp life.

Since increasing TBF of the lamps is more difficult compared to implementing early replacement. The factor turn from TTR and the service quality to the costs. The more we try to reduce TTR and increase quality service is to increase the cost of early replacement.

## **4.2 Recommendations**

To reduce more than 80% of the first priority, the EM1 team, which is the maintenance team of the expressway lighting, brainstormed for the root causes as shown in Figure 4.1 (the cause and effect diagram of 'All lighting in one Supply Pillar is black out'). To eliminate all causes in Figure 4.1, is one of the ways to minimize the breakdowns.

While the reduction of second priority repair group, one lamp of street lighting is black out, must come from the early replacement. To implement the early replacement, the costs of materials that occur must be compared to the benefit that the company and our customer earn.

Another way to minimize TTR is to change the request workflow. But changing the workflow of repair requests has to involve with other departments. The involved department is Rescue and Traffic Department and Toll Collection Department.

The last way and the most important way is to implement Total Productive Maintenance. The expressway lighting system has already implemented some part of the autonomous maintenance. We already implement the initial cleaning in the EM1 team. Although EM1 team is the maintenance team, they also have the responsibility because the system works autonomously.

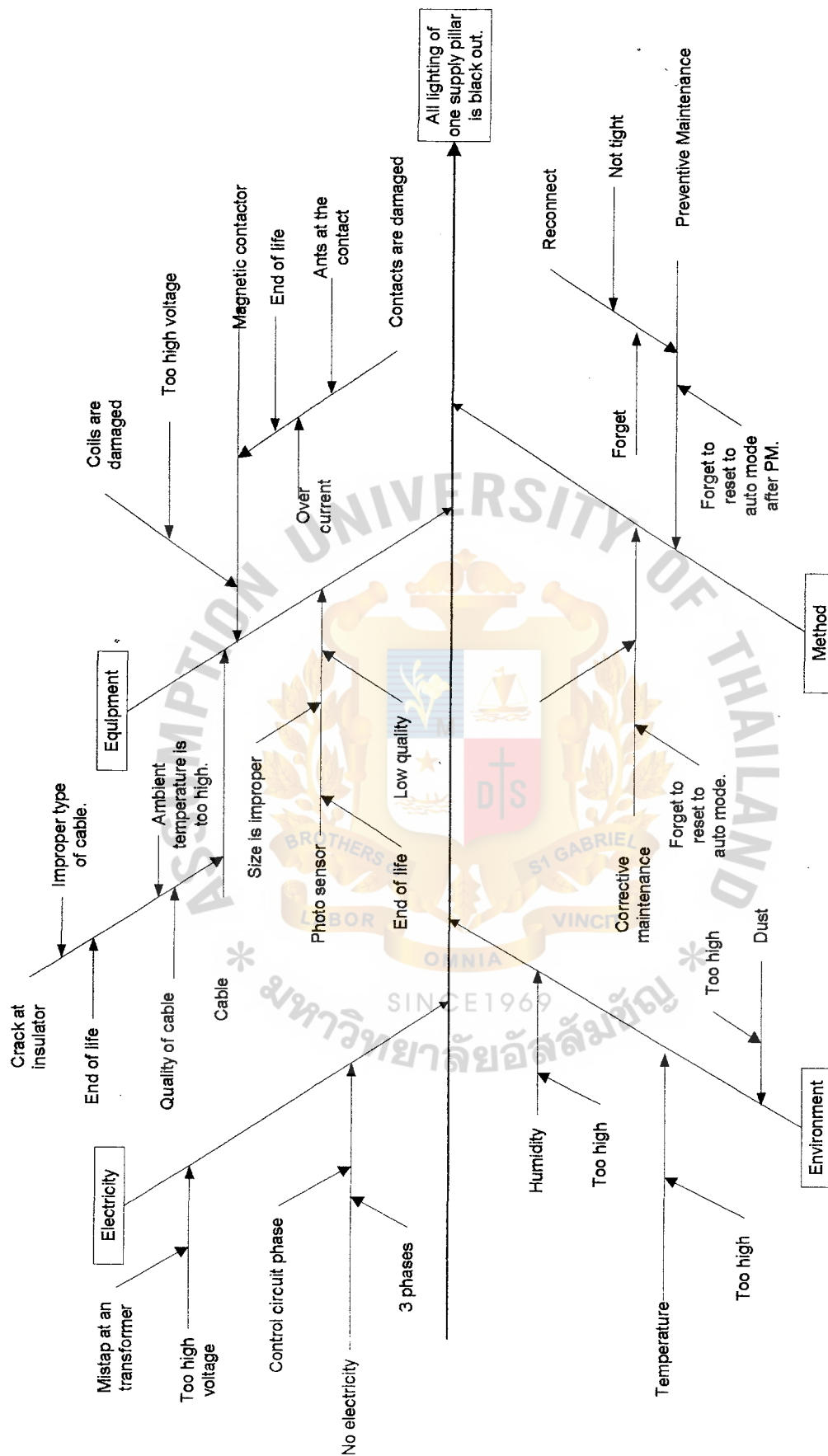


Figure 4.1. Cause and Effect Diagram for 'All Lighting of One Supply Pillar Is Black Out'.





After reducing the TTR in the significant repairs, we should implement Total Productive Maintenance (TPM) in the organization. In the Expressway Lighting system, there are no operators, as in the plants. Then to implement TPM, all responsible to maintain the system is in the maintenance department, including the initial cleaning. The initial cleaning and Preventive Maintenance is the activity that Em1 team has done for more than 3 years. The Preventive Maintenance (PM) check sheet is shown in Figure 4.2. From the expressway lighting system check sheet, there is only the check sheet for the Supply Pillar. There is no inspection on the illumination of the lamps that is the factor for the early replacement. Then this is one point that the check sheet must be revised or added. Another improvement for PM action is in the TPM basis by using the four lists, defective area lists, question lists, source of contamination lists, and difficult work area lists. (Gotoh 1992)

After improving the PM action, setting the initial cleaning standards, and autonomous standard is the next essential job because the standard help the expressway lighting maintain the reliability level. To maintain the level of TPM also needs to have the process quality assurance to have the continuous improvement in order to achieve Zero breakdown concept.



Table A.1. Repair Request Details during June 1999 and February 2000.

Order Date	Job	Cause	Operation	Finish Date
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	31-May-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	31-May-99
1-Jun-99	ไฟแสงสว่างดับต้นเว็นตัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	2-Jun-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	2-Jun-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	2-Jun-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	2-Jun-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	2-Jun-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	2-Jun-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	2-Jun-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	2-Jun-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	2-Jun-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	2-Jun-99
1-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	2-Jun-99
2-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	Control Gear เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	3-Jun-99
2-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	3-Jun-99
2-Jun-99	แผ่นปิดช่องเดินสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	ติดตั้งใหม่	3-Jun-99
2-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	3-Jun-99
2-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	3-Jun-99
2-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	3-Jun-99
2-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	3-Jun-99
2-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	3-Jun-99
2-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	3-Jun-99
2-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	3-Jun-99
2-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	3-Jun-99
6-Jun-99	แผ่นปิดช่องเดินสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	6-Jun-99
6-Jun-99	ไฟฉุกเฉินที่กังปาดับ 1 ดวง	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	6-Jun-99
6-Jun-99	แผ่นปิดช่องเดินสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	9-Jun-99
7-Jun-99	ไฟฉุกเฉินที่กังปาดับ 4 ดวง	ติดตั้งไม่ดี	ติดตั้งใหม่	7-Jun-99
7-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	8-Jun-99
7-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	Control Gear เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	8-Jun-99
7-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	8-Jun-99
9-Jun-99	ไฟแสงสว่างดับต้นเว็นตัน	ฟิวส์ตกให้ขาด	ต่อตรง	9-Jun-99
9-Jun-99	ไฟแสงสว่างดับตลอดแนว	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	10-Jun-99

Table A.1. Repair Request Details during June 1999 and February 2000. (Continued)

Order Date	Job	Cause	Operation	Finish Date
09-Jun-99	ไฟแสงสว่างส่องป้ายคัททั้งป้าย	Fuse Box ใหม่	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	10-Jun-99
09-Jun-99	ไฟแสงสว่างคัทคันวันคัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	10-Jun-99
09-Jun-99	ไฟแสงสว่างคัทคันวันคัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	10-Jun-99
09-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	10-Jun-99
09-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	10-Jun-99
09-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	10-Jun-99
09-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	10-Jun-99
12-Jun-99	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาคัท 4 ดวง	Transformer เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	12-Jun-99
16-Jun-99	ไฟแสงสว่างคัทคันวันคัน	ถั่ววงจร	เดินสายใหม่	16-Jun-99
16-Jun-99	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาคัท 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	16-Jun-99
16-Jun-99	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาคัท 1 ดวง	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	16-Jun-99
16-Jun-99	ไฟแสงสว่างส่องป้ายคัท 1 ดวง	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	16-Jun-99
16-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	17-Jun-99
16-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	17-Jun-99
16-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	17-Jun-99
16-Jun-99	ไฟแสงสว่างส่องป้ายคัททั้งป้าย	ถั่ววงจร	เดินสายใหม่	23-Jun-99
19-Jun-99	ไฟแสงสว่างคัทคันวันคัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	19-Jun-99
19-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	19-Jun-99
19-Jun-99	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาคัท 1 ดวง	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	19-Jun-99
19-Jun-99	ไฟแสงสว่างส่องป้ายคัททั้งป้าย	ติดตั้งไม่ดี	เดินสายใหม่	19-Jun-99
20-Jun-99	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาคัท 1 ดวง	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	20-Jun-99
20-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	20-Jun-99
20-Jun-99	ไฟแสงสว่างคัทคันวันคัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	20-Jun-99
20-Jun-99	ไฟแสงสว่างส่องป้ายคัททั้งป้าย	ติดตั้งไม่ดี	โดยผู้รับเหมา	20-Jun-99
20-Jun-99	แผ่นปิดช่องเดินสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	21-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	Control Gear เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	23-Jun-99
22-Jun-99	ไฟแสงสว่างส่องป้ายคัท 1 ดวง	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	ไฟแสงสว่างส่องป้ายคัท 1 ดวง	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	ไฟแสงสว่างส่องป้ายคัท 1 ดวง	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างคัท	หม้อคอยการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99



Table A.1. Repair Request Details during June 1999 and February 2000. (Continued)

Order Date	Job	Cause	Operation	Finish Date
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
22-Jun-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Jun-99
14-Jul-99	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางดับ 2 ดวง	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	14-Jul-99
14-Jul-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Jul-99
17-Jul-99	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	17-Jul-99
17-Jul-99	ไฟแสงสว่างดับคันเว้นคัน	Circuit Breaker คัดวงจร	คัดวงจร	18-Jul-99
18-Jul-99	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางดับ 1 ดวง	จุดต่อหลวม/แตก	ติดตั้งใหม่	18-Jul-99
20-Jul-99	ไฟแสงสว่างดับตลอดแนว	ลัดวงจร	เดินสายใหม่	20-Jul-99
20-Jul-99	แผ่นปิดช่องเดินสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	ติดตั้งใหม่	04-Aug-99
21-Jul-99	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางดับ 1 ดวง	ใส่หลอดหลวม	ติดตั้งใหม่	21-Jul-99
21-Jul-99	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางดับ 4 ดวง	ลัดวงจร	เดินสายใหม่	21-Jul-99
24-Jul-99	ไฟแสงสว่างดับตลอดแนว	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	24-Jul-99
24-Jul-99	ไฟแสงสว่างดับคันเว้นคัน	ติดตั้งไม่ดี	ติดตั้งใหม่	24-Jul-99
24-Jul-99	เตาไฟฟ้าแสงสว่าง โคมไฟ และฐานรากเสียหาย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	24-Jul-99
24-Jul-99	เตาไฟฟ้าแสงสว่างและโคมไฟเสียหาย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	24-Jul-99
24-Jul-99	เตาไฟฟ้าแสงสว่างและโคมไฟเสียหาย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	16-Sep-99
26-Jul-99	ไฟฉุกเฉินเสียหายทั้งหมด	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	26-Jul-99
31-Jul-99	แผ่นปิดช่องเดินสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	10-Aug-99
02-Aug-99	แผ่นปิดช่องเดินสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	ติดตั้งใหม่	03-Aug-99
02-Aug-99	แผ่นปิดช่องเดินสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	ติดตั้งใหม่	04-Aug-99
03-Aug-99	ไฟแสงสว่างดับคันเว้นคัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	03-Aug-99
04-Aug-99	ไฟแสงสว่างดับคันเว้นคัน	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	04-Aug-99
04-Aug-99	ไฟฉุกเฉินเสียหายทั้งหมด	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	15-Sep-99
07-Aug-99	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	07-Aug-99

Table A.1. Repair Request Details during June 1999 and February 2000. (Continued)

Order Date	Job	Cause	Operation	FinishDate
07-Aug-99	ไฟฉุกเฉินที่ข้างปลาดี 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	07-Aug-99
07-Aug-99	ไฟแสงสว่างท้องป้ายดับ 1 ดวง	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Aug-99
09-Aug-99	ไฟฉุกเฉินที่ข้างปลาดี 1 ดวง	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	09-Aug-99
09-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	08-Sep-99
09-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
10-Aug-99	ไฟแสงสว่างดับคันวันคัน	Magnetic Contactor เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	11-Aug-99
11-Aug-99	ไฟแสงสว่างติดค้าง	Photo switch เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	11-Aug-99
11-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
11-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
13-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
13-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
13-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	08-Sep-99
13-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	09-Sep-99
13-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	13-Sep-99
13-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
14-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
17-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนหลอด	01-Sep-99
17-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
17-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
19-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
21-Aug-99	เสาฉุกเฉินเสีย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	31-Aug-99
21-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
21-Aug-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
21-Aug-99	แผ่นปิดช่องเดินสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	15-Sep-99
29-Aug-99	ไฟฉุกเฉินที่ข้างปลาดี 4 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	01-Sep-99
29-Aug-99	ไฟฉุกเฉินเสียหายทั้งหมด	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	19-Sep-99
29-Aug-99	ไฟฉุกเฉินเสียหายทั้งหมด	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	19-Sep-99
31-Aug-99	ไฟแสงสว่างท้องป้ายดับ 1 ดวง	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	06-Sep-99
03-Sep-99	ไฟแสงสว่างดับคันวันคัน	หน้าสัมผัสของ Magnetic contactor ชำรุด	ต่อพ่วงหน้า Contact	04-Sep-99
04-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	06-Sep-99
04-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
04-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
04-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
04-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99

Table A.1. Repair Request Details during June 1999 and February 2000. (Continued)

Order Date	Job	Cause	Operation	FinishDate
04-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
04-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	08-Sep-99
04-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
06-Sep-99	ไฟแสงสว่างห้องปั๊มน้ำดับ 1 ดวง	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
06-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
06-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
06-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Sep-99
06-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ไม่ชัดเจน	เปลี่ยนหลอดและอุปกรณ์	08-Sep-99
07-Sep-99	ไฟแสงสว่างดับคันวันคัน	Circuit Breaker คัดวงจร	ต่อวงจร	08-Sep-99
07-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอดและอุปกรณ์	08-Sep-99
07-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	08-Sep-99
07-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	08-Sep-99
07-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	08-Sep-99
07-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	08-Sep-99
07-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	08-Sep-99
07-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	08-Sep-99
08-Sep-99	ไฟแสงสว่างห้องปั๊มน้ำดับ 1 ดวง	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	08-Sep-99
08-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	Control Gear เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	09-Sep-99
08-Sep-99	ไฟแสงสว่างดับคันวันคัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	09-Sep-99
08-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	09-Sep-99
08-Sep-99	ไฟแสงสว่างห้องปั๊มน้ำดับ 1 ดวง	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	09-Sep-99
08-Sep-99	ไฟแสงสว่างห้องปั๊มน้ำดับ 1 ดวง	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	09-Sep-99
08-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	09-Sep-99
08-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
12-Sep-99	ไฟแสงสว่างดับตลอดแนว	Magnetic Contactor เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	12-Sep-99
12-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	14-Sep-99
12-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
12-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
12-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
12-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
12-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอดและอุปกรณ์	15-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	13-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	13-Sep-99
13-Sep-99	ไฟแสงสว่างดับคันวันคัน	Circuit Breaker คัดวงจร	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99

Table A.1. Repair Request Details during June 1999 and February 2000. (Continued)

Order Date	Job	Cause	Operation	FinishDate
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
13-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	14-Sep-99
14-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	15-Sep-99
14-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	15-Sep-99
15-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	16-Sep-99
15-Sep-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	16-Sep-99
05-Oct-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	26-Oct-99
15-Oct-99	ไฟฉุกเฉินที่ข้างปลาดับ 4 ดวง	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	18-Oct-99
21-Oct-99	ไฟแสงสว่างดับตลอดแนว	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	23-Oct-99
25-Oct-99	ไฟแสงสว่างดับคันวันตัน	หน้าสัมผัสของ Magnetic contactor ชำรุด	ต่อพ่วงหน้า Contact	25-Oct-99
25-Oct-99	ไฟแสงสว่างติดค้าง	Photo switch เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	25-Oct-99
25-Oct-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	05-Jan-00
25-Oct-99	ไฟแสงสว่างดับตลอดแนว	Circuit Breaker คัดวงจร	ต่อวงจร	21-Feb-00
26-Oct-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	27-Oct-99
07-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	05-Jan-00
11-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอดและอุปกรณ์	07-Feb-00
13-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
18-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	CB เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	20-Dec-99
18-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	CB เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	20-Dec-99
19-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	Circuit Breaker คัดวงจร	ต่อวงจร	04-Jan-00
19-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	05-Jan-00
19-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	Circuit Breaker คัดวงจร	ต่อวงจร	12-Jan-00
19-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
19-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
19-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	Circuit Breaker คัดวงจร	ต่อวงจร	12-Jan-00
19-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้อออชการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00



Table A.1. Repair Request Details during June 1999 and February 2000. (Continued)

Order Date	Job	Cause	Operation	FinishDate
19-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
19-Dec-99	ไฟแสงสว่างห้องป้ายดับ 1 ดวง	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	16-Feb-00
22-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Dec-99
22-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	23-Dec-99
22-Dec-99	ไฟแสงสว่างห้องป้ายดับทั้งป้าย	CB เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	04-Jan-00
22-Dec-99	ไฟแสงสว่างดับคันวันคืน	Circuit Breaker คัดวงจร	ต่อวงจร	04-Jan-00
22-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
22-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
22-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
22-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	13-Jan-00
25-Dec-99	แผ่นปิดช่องเค้นสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	05-Jan-00
27-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
27-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
27-Dec-99	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ขั้วหลอดชำรุด	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	01-Feb-00
30-Dec-99	เตาไฟฟ้าแสงสว่างและโคมไฟเสียหาย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	26-Jan-00
02-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่ถังปลาดับ 2 ดวง	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	04-Jan-00
02-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	Control Gear เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	01-Feb-00
03-Jan-00	ไฟแสงสว่างห้องป้ายดับทั้งป้าย	Circuit Breaker คัดวงจร	ต่อวงจร	04-Jan-00
03-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
04-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับคันวันคืน	Circuit Breaker คัดวงจร	ต่อวงจร	04-Jan-00
05-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับคันวันคืน	ลัดวงจร	เค้นสายใหม่	01-Feb-00
06-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
06-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับคันวันคืน	Circuit Breaker คัดวงจร	ต่อวงจร	12-Jan-00
06-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับคันวันคืน	Circuit Breaker คัดวงจร	ต่อวงจร	12-Jan-00
08-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
08-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	Control Gear เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	12-Jan-00
08-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
08-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	13-Jan-00
08-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	13-Jan-00
08-Jan-00	ไฟแสงสว่างห้องป้ายดับ 1 ดวง	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	25-Jan-00
08-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่ถังปลาดับ 2 ดวง	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	25-Jan-00
10-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่ถังปลาดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	25-Jan-00
10-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่ถังปลาดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	25-Jan-00
11-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00
11-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	12-Jan-00



Table A.1. Repair Request Details during June 1999 and February 2000. (Continued)

Order Date	Job	Cause	Operation	Finish Date
11-Jan-00	เตาไฟฟ้าแสงสว่างเสียหาย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	15-Feb-00
12-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	13-Jan-00
12-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	13-Jan-00
12-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	13-Jan-00
12-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	13-Jan-00
12-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางระดับ 4 ดวง	สายขาด	ติดตั้งใหม่	15-Jan-00
12-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางระดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	15-Jan-00
13-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	13-Jan-00
15-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับคันวันคืน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	15-Jan-00
15-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับตลอดแนว	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	15-Jan-00
15-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	CB เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	18-Jan-00
15-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	CB เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	18-Jan-00
15-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	CB เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	18-Jan-00
15-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางระดับ 4 ดวง	จุดต่อหลวม/แตก	ติดตั้งใหม่	25-Jan-00
16-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางระดับ 4 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	17-Jan-00
18-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	18-Jan-00
18-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับทั้งปายดับทั้งปาย	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	18-Jan-00
18-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	19-Jan-00
18-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	19-Jan-00
18-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	19-Jan-00
18-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	19-Jan-00
18-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	19-Jan-00
18-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	19-Jan-00
18-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	19-Jan-00
22-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับคันวันคืน	Magnetic Contactor เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	22-Jan-00
22-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับตลอดแนว	Magnetic Contactor เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	23-Jan-00
23-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับค้าง	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	23-Jan-00
24-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางระดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	25-Jan-00
24-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางระดับ 1 ดวง	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	25-Jan-00
24-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางระดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	25-Jan-00
25-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	25-Jan-00
29-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับทั้งปายดับทั้งปาย	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	05-Feb-00
30-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่กึ่งกลางระดับ 1 ดวง	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	30-Jan-00
30-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับคันวันคืน	ลัดวงจร	เดินสายใหม่	30-Jan-00
30-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	30-Jan-00
30-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	30-Jan-00
30-Jan-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	02-Feb-00
30-Jan-00	ไฟแสงสว่างดับคันวันคืน	Magnetic Contactor เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	28-Jun-00

Table A.1. Repair Request Details during June 1999 and February 2000. (Continued)

Order Date	Job	Cause	Operation	Finish Date
31-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 1 ดวง	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	03-Feb-00
31-Jan-00	ไฟแสงสว่างต่องป้ายดับ 1 ดวง	Control Gear เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	05-Feb-00
31-Jan-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 1 ดวง	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	26-Feb-00
05-Feb-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 2 ดวง	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	26-Feb-00
05-Feb-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 1 ดวง	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	26-Feb-00
07-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Feb-00
07-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	07-Feb-00
07-Feb-00	ไฟแสงสว่างต่องป้ายดับ 1 ดวง	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอดและอุปกรณ์	07-Feb-00
07-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	07-Feb-00
09-Feb-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	09-Feb-00
09-Feb-00	ไฟแสงสว่างต่องป้ายดับทั้งป้าย	CB เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	09-Feb-00
09-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	09-Feb-00
09-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	09-Feb-00
09-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	09-Feb-00
09-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	09-Feb-00
09-Feb-00	แผ่นปิดช่องเดินสายไฟ (Draw pit cover) เสียหาย	อุบัติเหตุ	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	14-Feb-00
12-Feb-00	Cable Tie แก้ว	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	12-Feb-00
12-Feb-00	Cable Tie แก้ว	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	12-Feb-00
12-Feb-00	Cable Tie แก้ว	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	12-Feb-00
12-Feb-00	Cable Tie แก้ว	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	12-Feb-00
12-Feb-00	Cable Tie แก้ว	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	12-Feb-00
15-Feb-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 1 ดวง	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	16-Feb-00
15-Feb-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 4 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	16-Feb-00
15-Feb-00	ไฟแสงสว่างดับคันเหินคัน	ตรวจพบว่าไม่เสีย	ไม่ต้องดำเนินการใดๆ	16-Feb-00
15-Feb-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 1 ดวง	หม้ออาตุกรใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	16-Feb-00
16-Feb-00	ไฟแสงสว่างดับคันเหินคัน	หน้าสัมผัสของ Magnetic contactor ชำรุด	ต่อพ่วงหน้า Contact	16-Feb-00
16-Feb-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	16-Feb-00
16-Feb-00	ไฟแสงสว่างดับคันเหินคัน	Circuit Breaker ตัดวงจร	ต่อวงจร	16-Feb-00
16-Feb-00	ไฟแสงสว่างดับคันเหินคัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	16-Feb-00
16-Feb-00	ไฟแสงสว่างดับคันเหินคัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	16-Feb-00
18-Feb-00	ไฟแสงสว่างดับตลอดแนว	ลัดวงจร	เดินสายใหม่	19-Feb-00
18-Feb-00	ไฟแสงสว่างดับคันเหินคัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	20-Feb-00
18-Feb-00	ไฟแสงสว่างดับคันเหินคัน	ฟิวส์ขาด	เปลี่ยนฟิวส์ใหม่	20-Feb-00
20-Feb-00	ไฟแสงสว่างดับคันเหินคัน	หน้าสัมผัสของ Magnetic contactor ชำรุด	ต่อพ่วงหน้า Contact	20-Feb-00
20-Feb-00	ไฟแสงสว่างดับคันเหินคัน	Circuit Breaker ตัดวงจร	ต่อวงจร	21-Feb-00

Table A.1. Repair Request Details during June 1999 and February 2000. (Continued)

Order Date	Job	Cause	Operation	FinishDate
21-Feb-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 4 ดวง	ติดตั้งไม่ดี	ติดตั้งใหม่	21-Feb-00
22-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอด	22-Feb-00
22-Feb-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	23-Feb-00
22-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอดและอุปกรณ์	23-Feb-00
22-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	หมดอายุการใช้งาน	เปลี่ยนหลอดและอุปกรณ์	23-Feb-00
24-Feb-00	1 ดวงไฟแสงสว่างดับ	Circuit Breaker คัดวงจร	ค่อวงจร	01-Mar-00
26-Feb-00	ไฟฉุกเฉินที่ก้างปลาดับ 2 ดวง	Flashing Relay เสีย	เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่	26-Feb-00



## BIBLIOGRAPHY

### English References

1. Criswell, John W. Planned Maintenance for Productivity and Energy Conservation. GA: The Fairmount Press Inc., 1987.
2. Gaither, Norman. Production Operation and Management. Washington: Duxbury Press, 1997.
3. Gotoh, Fumio. Equipment Planning for TPM, Maintenance Prevention Design. Massachusetts: Productivity Press, 1991.
4. Gotoh, Fumio and Masaji Tajiri. TPM Implementation, a Japanese Approach. New York: McGraw-Hill, Inc., 1992.
5. Heizer, Jay and Barry Render. Production and Operation Management, Strategies and Tactics. Massachusetts: Prentice Hall, 1996.
6. McGrath, Robert N. "Maintenance: The Missing Link in Supply Chain Strategy," Industrial Management 41, No. 4 (1999): 29-33.
7. Shirose, Kunio. TPM for Workshop Leaders. Massachusetts: Productivity Press, 1992.
8. Smith, Gerald M. Statistical Process Control and Quality Improvement. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
9. Wireman, Terry. Inspection and Training for TPM. New York: Industrial Press Inc., 1992.

### Thai References

1. คະชียะ ไชโยทานิ และ วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์. การแก้ปัญหาแบบคิวซี. กรุงเทพมหานคร: บริษัท แชนโพร พรินติ้ง จำกัด, 2541.
2. เชอิจิ นากาชิมา และ สุวิทย์ บุญขวานิชกุล. แนะนำสู่การบำรุงรักษาที่ผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม. กรุงเทพมหานคร: บริษัท แชนโพร พรินติ้ง จำกัด, 2542.



