



,

**Development of System for Optimum Design,  
Safety Appraisal and Repair Works on  
Agricultural Structures**



,

**Development of System for Optimum Design,  
Safety Appraisal and Repair Works on  
Agricultural Structures**

"

,

"

.

2000 10 27

:

:

:

:

:

:

:

:

:

:

:

:

:

:

:



.

,

.

,

System

.

.

가

,

가

.

.

,

, 1992

, 1994

가

“

( )”

1994

,

1

2

가

가

, 가

가

가

System

1.

, , , ,

DB

가.

.

.

.

. 3

DB化

2.

, ,

( , SAD : System for Appraisal and Decision)

가.

,

.

가

.

.

, Data Reduction .

.

.

.

.

Software

가

가 System .

. 가 System

Software Calibration

가

Rule Calibrate .

3.

. DB化

( , SRRD : System for Repair & Rehabilitation Design)

가. ( , ), DB化 .

, DB .

. .

. , 가 .

. 가 System .

4. DB

가. DB

. .

5. System Project

가. Input

. , .

. .

. .

.

1.

가.

. 3

3

(DB) 가 가

가

가 System

2.

가.

가

가

가

3.

가.

가

가

SAD 가 DB , 가  
System SAD , 가

(SRRD) :

SRRD

## Summary

Agricultural structures are small in size and scattered in a large area.

Even optimal design is properly applicable to agricultural structure because of its simple and small configuration, typical drawings based on the conventional design method has been generally adopted in the engineering application. Also, the inspection of agricultural structures is not made regularly because of shortage of experts and unavailability of inspection method developed for these kinds of small size structures. In order to improve the efficiency in the design and use of agricultural structures, optimum design based on the updated specification and regular inspection based on a systematic management plan are needed. Also, the scientific judgement on the condition of agriculture structures must be made, from which, proper action of repair, strengthening or replacement can be made.

In this study software was developed for optimum design which could produce the most efficient design of agricultural structures guaranteeing economy and safety utilizing Nonlinear Programming Method. Also a technique for the appraisal of existing agricultural structures, and a system which can select the most appropriate measure to the structures in question, were developed, thereby, the economy and efficiency in the maintenance or construction works of agricultural structures could be expected. Followings are the results of the study;

1. Development of the program for the optimum design of agricultural structures
  - Program producing optimum designs of the agricultural structures such as retaining wall, bridges(slab bridge, T beam bridge), aqueduct bridge, culvert, aqueduct tunnel and drop was developed. The program producing 3-D design drawings automatically was developed as well
2. History DB for the systematic maintenance of agricultural structures.
  - Current maintenance system of agriculture structures was reviewed.

- GIS(Geo Information System) for the management of agriculture structures was established and DB compatible program was developed.
3. System for safety appraisal, repair, strengthening and replacement.
- Developed the rule for decision, logging method for inspection, coding system for the defect scoring system for the condition of a structure.
  - Destructive and nondestructive methods for the inspection were reviewed and data reduction method was discussed.
4. DB for repair and strengthening works
- Repair and Strengthening methods of 210 kinds were reviewed and put into the DB system which assists to the proper selection of repair and strengthening method.
  - Repair materials used for the hydraulic structures were reviewed and lab-tested. The results were used in making selection guidelines.
  - Beams strengthened with steel plate were tested for the strengthening effect estimation.
5. Development of the SAD program and its application.
- System was developed for the repair, strengthening and replacement based on the coding and scoring system explained.
  - The SAD was applied to the assessment of small bridge, aqueduct bridge and drainage channel. Therefrom, the system fidelity was studied.
  - In addition to the appraisal by SAD, small bridge was load tested and strengthened with 3 H-Beams. Additional load test was made to estimate the strengthening effect.

# CONTENTS

<b>Chap. 1 Introduction</b>	<b>19</b>
Sec. 1 Backgrounds	19
Sec. 2 Necessity of Study	23
1. Technical Aspects	24
2. Aspects of Economy and Industry	25
Sec. 3 Objective and Scopes of Research	26
Sec. 4 Expected Effects and Application Plan	28
1. Technical Aspects	28
2. Aspects of Economy and Industry	29
3. Application Plan	29
Sec. 5 Period of Study	30
Sec. 6 Research Personnel	31
Sec. 7 Summary and Conclusions	33
<b>Chap. 2 Development of Computer Program for Optimum Design on Agricultural Structures</b>	<b>35</b>
Sec. 1 Introduction	35
Sec. 2 Reasonability and Correctness of Present Design Method on Agricultural Structures	36
1. Present Status of Design Method	36
2. Problems of Present Design Method.	36
3. Counter Plan	37
Sec. 3 Optimum Design Problem Formulation	37
1. Retaining Wall	37
2. Bridge	43
3. Aqueduct Bridge	51
4. Box Culvert	65

5. Aqueduct Tunnel	70
6. Drops	74
Sec. 4 Development of Optimum Design Program	82
1. Outlines	82
2. Algorithms of Optimum Design	83
3. DOT(Design Optimization Tools)	85
4. Development of Main Program	85
Sec. 5 Using Method of Computer Program	89
1. DOT System Requirements	89
2. Compiling and Linking	90
3. Optimum Design of Agricultural Structures	91
Sec. 6 Results of Optimum Design	103
1. Global Minimum and Local Minimum	103
2. Searching Method of Optimum Design Point	103
3. Optimum Design Values	104
Sec. 7 Development of Computer Program for Drawing	112
1. Build up Data Base for Optimum Design Values	112
2. Development of Program and Build up Data Base for Drawing Material	113
Sec. 8 Summary and Conclusion	119
Chap. 3 History Data Base for Current Conditions and a Schematic Management of Agricultural Structures	121
Sec. 1 Analysis for Current Conditions and Maintenance Management System of Agricultural Structures	121
1. Introduction	121
2. Safety Inspection	122
3. Problems in Current Maintenance-Management System and Purposes	126
4. Investigation Results for Current Conditions of Agricultural Structures in "Yedang" Region	127
Sec. 2 Development of History Data Base of Structures and Compatible Program	131

1. Introduction	131
2. Data Base for Location, Configurations, and Drawings of Structures	132
3. Construction of History Data Base for Structures	139
Sec. 3 Summary and Conclusions	141
Chap. 4 System for Safety Appraisal, Repair, Strengthening, and Replacement	147
Sec. 1 Investigation and Appraisal	147
1. Introduction	147
2. Investigation and Safety Inspection	148
Sec. 2 Destructive and Nondestructive Tests, and Data Reduction Techniques	163
1. Introduction	136
2. Destructive Tests	164
3. Characteristics of Nondestructive Tests	166
4. Nondestructive Tests for Concrete Strength	172
Sec. 3 Development of Safety Inspection, and Repair and Strengthening System	178
1. Inspection Methods	178
2. Development of Investigation and Inspection Methods	186
Sec. 4 Summary and Conclusions	206
Chap. 5 Data Base for Repair and Strengthening Works, and Selection of Optimal Technique	207
Sec. 1 Types of Deterioration and Failure	207
Sec. 2 Analysis for Causes of Deterioration and Failure	217
1. Introduction	217
2. Mechanism of Deterioration and Failure	217
3. Experiments to Investigate the Causes of Deterioration and Failure	249
Sec. 3 Data Base for Repair and Strengthening Techniques, and Experiments for Optimal Repair Technique	259
1. Introduction	259
2. Data Base for Repair and Strengthening Techniques According to the	

Cause of Deterioration and Failure	259
3. Experiments for Selection of Optimal Repair Technique	326
4. Experiments, and Analysis for Strengthening Technique	344
Sec. 4 Summary and Conclusions	360
Chap. 6 Development of System and Field Application	363
Sec. 1 Methodology of System Development	363
1. System Development Methodology	363
2. Assessment, and Development of Repair and Strengthening System	368
3. Examples of System Application	385
Sec. 2 System Application and Pilot Construction	393
1. System Field Application	393
2. Pilot Construction	404
Sec. 3 Summary and Conclusions	425
Chap. 7 Summary and Comprehensive Conclusions	427
Sec. 1 Summary	427
Sec. 2 Comprehensive Conclusions	431
References.	433
Appendix	441
Appendix	467
Appendix	483

	1
	3
Summary	4
Contents	11
	15
1	19
1	19
2	23
1.	24
2.	25
3	26
4	28
1.	28
2.	29
3.	29
5	30
6	31
7	33
2	35
1	35
2	36
1.	36
2.	36
3.	37
3	37
1.	37

2.		43
3.		51
4.		65
5.		70
6.		74
4		82
1.		82
2.		83
3.	DOT(Design Optimization Tools)	85
4.		85
5		89
1.	DOT Computer System	89
2.	Compiling Linking	90
3.		91
6		103
1.		103
2.		103
3.		104
7		112
1.		112
2.		DB 113
8		119
3		DB 121
1		121
1.		121
2.		122
3.		126
4.		127
2	DB	131
1.		131
2.	,	DB 132

3.	D/B	D/B	139
3			141
4			147
1	가		147
1.			147
2.			148
2		Reducti on	163
1.			163
2.			164
3.			166
4.			172
3			178
1.			178
2.			186
4			206
5		DB	207
1			207
2			217
1.			217
2.			217
3.			249
3		DB	259
1.			259
2.		DB	259
3.			326
4.			344
4			360
6			363
1			363

1.	363
2.	368
3.	385
2	393
1. System	393
2.	404
3	425
7	427
1	427
2	431
	433
	441
	467
	483

1

1

가

가

가

1960 Schmit가

가

40

가

1960

150

3000

Software

가

, , , ,

가



, 가 , 가  
.  
) , 가, 가( 가

(BMS) 가

(Bridge Management System)  
(Federal Highway Administration) /  
BMS BMS Model

Management System  
Management System

가  
가 System

System

가

가 .





가  
1994

“ ( )”  
1 2

가

가

, 가

가

1.

가 .

가 .

가 .  
가  
가 .  
가 .  
가 System  
가 System  
가 .  
화  
가 .  
가  
가 System  
DB化  
가 .  
가

2.

가  
가  
Data

가 .  
가 .  
가 .  
가 .  
가 .

### 3

가 .  
System  
가 .  
DB  
가 .

3

DB化

( , SAD : System for Appraisal and Decision)

가

Data Reduction

Software

가

가 System

가 System

Software Calibration

가

Rule Calibrate

DB化

( , SRRD : System for Repair & Rehabilitation Design)

( , ),

DB化

DB

가

가 System

DB

DB

System

Project

Input

4

1.

가.

3

3

(DB) 가 가 .

.  
. , , 가 . ,  
. 가 System

2.

가. 가 가  
가

3.

가.

가

가

· (SAD) :  
 SAD 가 DB , 가  
 가  
 System . SAD ,

· (SRRD) :  
 SRRD .

## 5

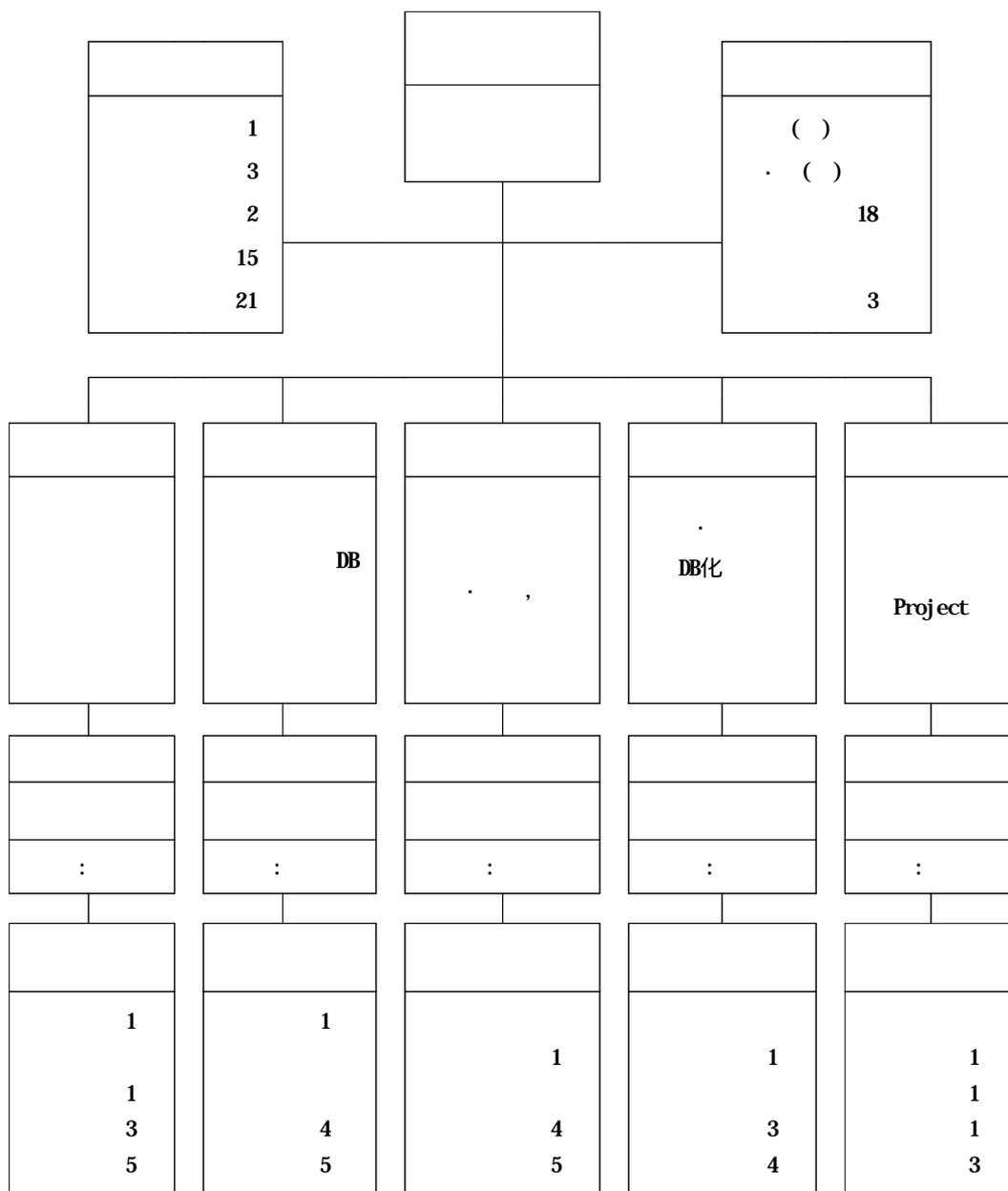
3

1	:	1997	10	28	1998	10	27
2	:	1998	10	28	1999	10	27
3	:	1999	10	28	2000	10	27

# 6

1-1

1-1 .



1-1

1-1

			.
			.
			,
			<b>DB</b>
		<b>DB</b>	







, , , ,

.  
.

6가

.

.

6

2

1.

가

, ,

2.

1999

1.1 (2)

“

”

.

.

1980

1980

3.

가.

Parameter

가

가

가

3

1.

가.

가

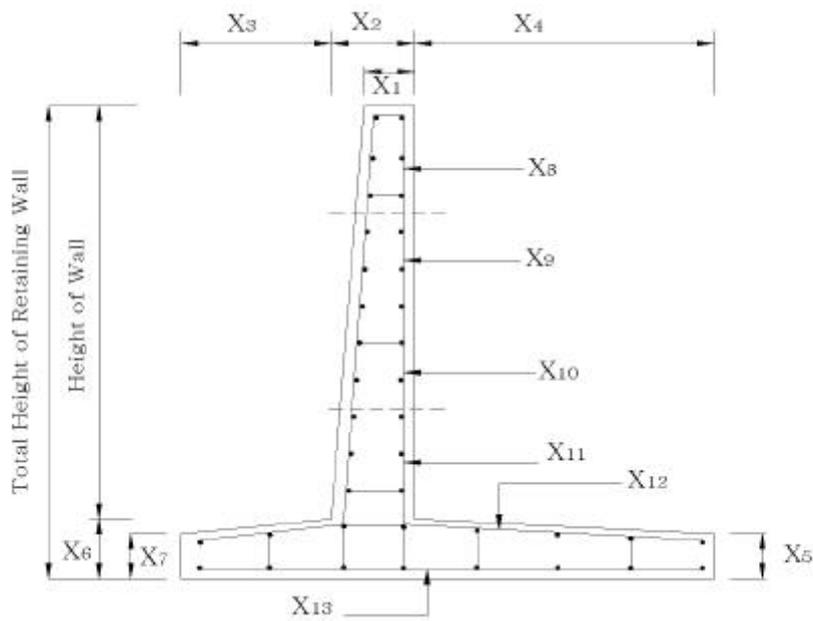
가

T

2-1

13

- $X_1 :$
- $X_2 :$
- $X_3 :$
- $X_4 :$
- $X_5 :$
- $X_6 :$
- $X_7 :$
- $X_8 : \quad \quad \quad 4 \quad \quad \quad (1m)$
- $X_9 : \quad \quad \quad 4 \quad \quad \quad (1m)$
- $X_{10} : \quad \quad \quad 4 \quad \quad \quad (1m)$
- $X_{11} : \quad \quad \quad 4 \quad \quad \quad (1m)$
- $X_{12} : \quad \quad \quad \quad \quad \quad (1m)$
- $X_{13} : \quad \quad \quad \quad \quad \quad (1m)$



2-1

(1n)

(2-1)

$$C_w = C_c V_c + C_s V_s + C_f A_f \quad (2-1)$$

$C_w$  :

$C_c$  :

$C_s$  :

$C_f$  :

$V_c$  :

$V_s$  :

$A_f$  :

1)

$$G(1) = S_o - \frac{M_r}{M_o} = 0 \quad (2-2)$$

$S_o$  :

$M_r$  :

$M_o$  :

2)

$$G(2) = S_s - \frac{\mu(\sum W_i)}{P_h} = 0 \quad (2-3)$$

$S_s$  :

$\mu$  :

$\sum W_i$  :

$P_h$  :

3)

**R**

**1/3**

$$G(3) = e - e'' = 0 \quad (2-4)$$

$$G(4) = e' - e = 0 \quad (2-5)$$

$e$  :  $\sum W_i$

$$e'' = \frac{B}{6.0}$$

$$e' = -\frac{B}{6.0}$$

$B$  :

4)

$$G(5) = P - S_{allow} = 0 \quad (2-6)$$

$$P = \frac{\sum W_i}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$$

$S_{allow}$  :

5)

가)

4

$$G(i) = M_{uwi} - \Phi_f M_{nwi} = 0 \quad (2-7)$$

$$M_{uwi} : i$$

$$\Phi_f :$$

$$M_{nwi} : i$$

$$I : 6 \sim 9$$

$$i : 1 \sim 4$$

)

$$G(J) = S_{uwj} - \Phi_s S_{nwj} = 0 \quad (2-8)$$

$$S_{uwj} : j$$

$$\Phi_s :$$

$$S_{nwj} : j$$

$$J : 10 \sim 12$$

$$j : 1 \sim 3$$

)

$$G(K) = P(KK)_{\min} - X(KKK) = 0 \quad (2-9)$$

$$P(KK)_{\min} :$$

$$K : 13 \sim 16$$

$$KK : 1 \sim 4$$

$KKK : 11, 10, 9, 8$

)

$$G(L) = X(LLL) - P(LL)_{\max} \quad 0 \quad (2-10)$$

$P(LL)_{\max} :$

$L : 17 \sim 20$

$LL : 1 \sim 4$

$LLL : 11, 10, 9, 8$

6)

.

7)

$$G(21) = M_{uh} - \Phi_f M_{nh} \quad 0 \quad (2-11)$$

$M_{uh} :$

$M_{nh} :$

)

$$G(22) = S_{uh} - \Phi_s S_{nh} \quad 0 \quad (2-12)$$

$S_{uh} :$

$S_{nh} :$

)

$$G(23) = P_{h, \min} - X(12) \quad 0 \quad (2-13)$$

$P_{h, \min} :$

7)

가)

$$G(24) = M_{ut} - \Phi_f M_{nt} = 0 \quad (2-14)$$

$M_{ut}$  :

$M_{nt}$  :

)

$$G(25) = S_{ut} - \Phi_s S_{nt} = 0 \quad (2-15)$$

$S_{ut}$  :

$S_{nt}$  :

)

$$G(26) = P_{t, \min} - X(12) = 0 \quad (2-16)$$

$P_{t, \min}$  :

8)

$$G(27) = X(6) - F_{em} = 0 \quad (2-17)$$

$F_{em}$  : - 0.001

2.

가.

1)

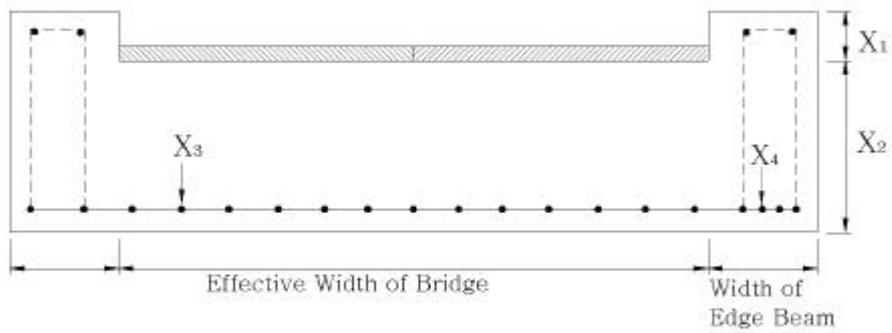
2-2

4

$X_1 :$

$X_2 :$

$X_3 :$



2-2

2)

1 (span)

(2-1)

3)

가)

$$G(1) = T_{\min} - X(2) = 0 \quad (2-18)$$

$T_{\min} :$

)

$$G(2) = M_{us} - \Phi_f M_{ns} = 0 \quad (2-19)$$

$M_{us} :$

$M_{ns} :$

)

$$G(3) = P_{s, \min} - P_s = 0 \quad (2-20)$$

$$P_{s, \min} :$$

$$P_s :$$

)

$$G(4) = P_s - P_{s, \max} = 0 \quad (2-21)$$

$$P_{s, \max} :$$

)

$$G(5) = M_{ub} - \Phi_f M_{nb} = 0 \quad (2-22)$$

$$M_{ub} :$$

$$M_{nb} :$$

)

$$G(6) = P_{b, \min} - P_b = 0 \quad (2-23)$$

$$P_{b, \min} :$$

$$P_b :$$

)

$$G(7) = P_b - P_{b, \max} = 0 \quad (2-24)$$

$$P_{b, \max} :$$

. **I**

1)

$X_1$  : A - A                      B - B

$X_2$  : C - C

$X_3$  : A - A                      B - B

(1n)

$X_4$  : C - C

$X_5$  :

$X_6$  :

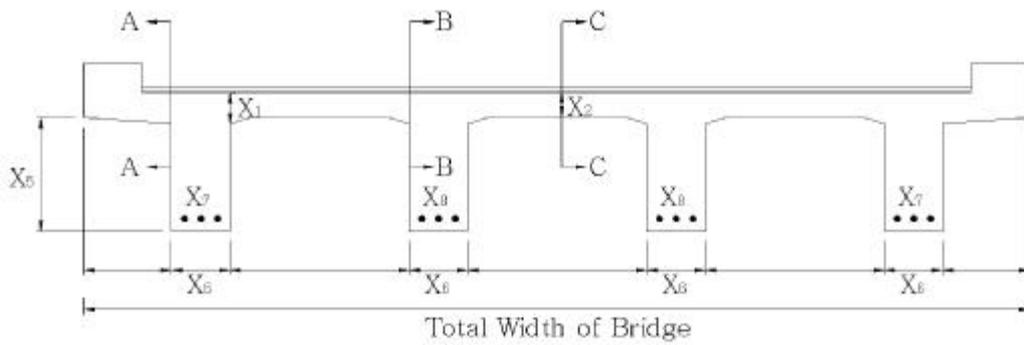
$X_7$  :                      1

$X_8$  :                      1

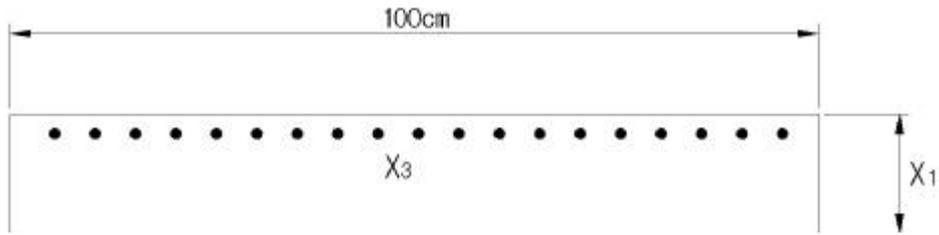
$X_9$  :    1

$X_{10}$  :

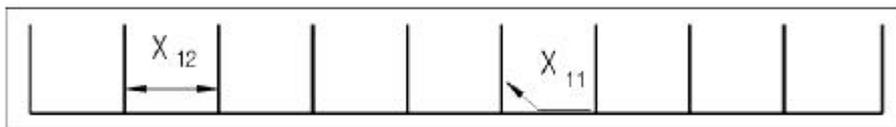
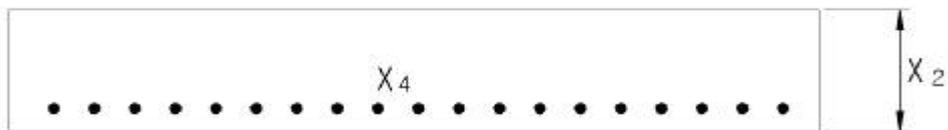
$X_{11}$  :    1



Slal



Slε



2-3 T-

2)

$$T \quad 1$$

(2-1)

3)

가)

(1)

(1n)

$$G(1) = M_{uta} - \Phi_f M_{nta} = 0 \quad (2-25)$$

$$G(2) = M_{utb} - \Phi_f M_{ntb} = 0 \quad (2-26)$$

$$G(3) = M_{utc} - \Phi_f M_{ntc} = 0 \quad (2-27)$$

$$M_{uta} : \quad \mathbf{A-A}$$

$$M_{utb} : \quad \mathbf{B-B}$$

$$M_{utc} : \quad \mathbf{C-C}$$

$$M_{nta} : \quad \mathbf{A-A}$$

$$M_{ntb} : \quad \mathbf{B-B}$$

$$M_{ntc} : \quad \mathbf{C-C}$$

(2)

$$G(4) = P_{\min} - P_{ta} = 0 \quad (2-28)$$

$$G(5) = P_{\min} - P_{tc} = 0 \quad (2-29)$$

$$P_{\min} :$$



$$M_{ngi} :$$

$$M_{ngo} :$$

(2)

$$G(11) = P_{go} - P_{o, \max} = 0 \quad (2-35)$$

$$G(12) = P_{gi} - P_{i, \max} = 0 \quad (2-36)$$

$$P_{go} :$$

$$P_{gi} :$$

$$P_{o, \max} :$$

$$P_{i, \max} :$$

(3)

$$G(13) = P_{\min} - P_{go} = 0 \quad (2-37)$$

$$G(14) = P_{\min} - P_{gi} = 0 \quad (2-38)$$

$$P_{\min} :$$

$$(4) \quad G(15) = S_{ugo} - \Phi_s S_{ngo} = 0 \quad (2-39)$$

$$G(16) = S_{ugi} - \Phi_s S_{ngi} = 0 \quad (2-40)$$

$$S_{ugo} :$$

$$S_{ugi} :$$

$$S_{ngo} :$$

$$S_{ngi} :$$

(5)

$$G(17) = ST_{o, \min} - X(9) = 0 \quad (2-41)$$

$$G(18) = ST_{i, \min} - X(11) = 0 \quad (2-42)$$

$ST_{o, \min}$  :

$ST_{i, \min}$  :

(6)

$$G(19) = X(10) - SP_{\max} = 0 \quad (2-43)$$

$$G(20) = X(12) - SP_{\max} = 0 \quad (2-44)$$

$SP_{\max}$  :

3.

3

가

가

가.

1)

(HV),

(HH)

가

(VD),

(TH),

(VL),

2)

2-4

5



(2)

$$\mathbf{G}(2) = \mathbf{P}_{\min} - \mathbf{P}_g \quad \mathbf{0} \quad (2-46)$$

,  $\mathbf{P}_g$  :

(3)

$$\mathbf{G}(3) = \mathbf{P}_g - \mathbf{P}_{\max} \quad \mathbf{0} \quad (2-47)$$

(4)

$$\mathbf{G}(4) = \mathbf{S}_{ug} - \Phi_s \mathbf{S}_{ng} \quad \mathbf{0} \quad (2-48)$$

$\mathbf{S}_{ug}$  :

$\mathbf{S}_{ng}$  :

(5)

$$\mathbf{G}(5) = \mathbf{T}_{cr} - \mathbf{H}_g \quad \mathbf{0} \quad (2-49)$$

$$, \quad \mathbf{T}_{cr} = \left( 0.4 + \frac{Q_y}{7000.0} \right) \mathbf{L} / 16.0$$

$$\mathbf{L} =$$

$$\mathbf{H}_g = \mathbf{T} \mathbf{H} + \mathbf{U} \mathbf{H} + \mathbf{X}_2$$

)

(1)

$$\mathbf{G}(6) = \mathbf{M}_{usa} - \Phi_f \mathbf{M}_{ns} \quad \mathbf{0} \quad (2-50)$$

$$\mathbf{G}(7) = \mathbf{M}_{usc} - \Phi_f \mathbf{M}_{ns} \quad \mathbf{0} \quad (2-51)$$

,  $\mathbf{M}_{usa}$  :

$\mathbf{M}_{usc}$  :

$M_{ns}$  :

(2)

$$G(8) = P_{\min} - P_s = 0 \quad (2-52)$$

,  $P_s$  :

(3)

$$G(9) = P_s - P_{\max} = 0 \quad (2-53)$$

(4)

$$G(10) = S_{us} - \Phi_s S_{ns} = 0 \quad (2-54)$$

,  $S_{us}$  :

$S_{ns}$  :

)

(1)

$$G(11) = M_{uw} - \Phi_f M_{nw} = 0 \quad (2-55)$$

,  $M_{uw}$  :

$M_{nw}$  :

(2)

$$G(12) = P_{\min} - P_w = 0 \quad (2-56)$$

,  $P_w$  :

(3)

$$G(13) = P_w - P_{\max} = 0 \quad (2-57)$$

(4)

$$\mathbf{G}(14) = S_{uw} - \mathbf{Q}_s S_{ns} = \mathbf{0} \quad (2-58)$$

,  $S_{uw}$  :

$S_{ns}$  :

.

1)

,

가

가

가

.

2)

2-5

8

$X_1$  :

$X_2$  :

$X_3$  :

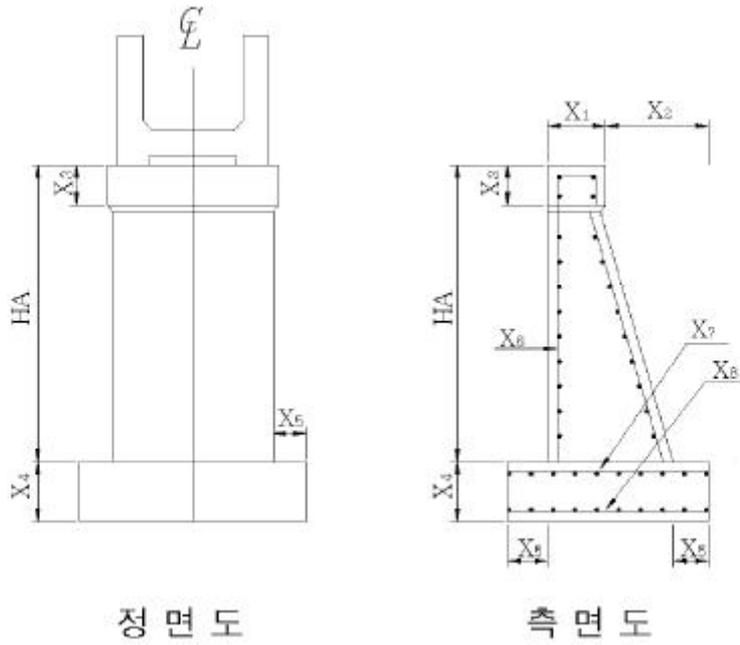
$X_4$  :

$X_5$  :

$X_6$  :

$X_7$  :

$X_8$  :



2-5

3)

(2-1)

4)

가)

$$G(1) = S_o - \frac{M_r}{M_o} = 0 \quad (2-59)$$

,  $S_o$  :

$$) \quad R \quad \frac{1}{3}$$

$$G(2) = e - \frac{f}{6} \quad 0 \quad (2-60)$$

,  $e$  :

$f$  :

)

$$G(3) = S_s - \frac{W}{P_h} \quad 0 \quad (2-61)$$

$S_s$  :

$\mu$  :

$W$  :

$P_h$  :

)

$$G(4) = Q_{\max} - B_{\text{allow}} \quad 0 \quad (2-62)$$

,  $Q_{\max}$  :

$B_{\text{allow}}$  :

)

6

$$G(I) = M_{ubi} - \Phi_f M_{nbi} \quad 0 \quad (2-63)$$

,  $M_{ubi}$  :  $i$

$M_{nbi}$  :  $i$

$I$  : 5 10

$i$  : 1 6

)

$$\mathbf{G(1)} = S_{ubi} - \Phi_s S_{nbi} \quad \mathbf{0} \quad (2-64)$$

$$S_{ubi} : \quad \mathbf{i}$$

$$S_{nbi} : \quad \mathbf{i}$$

$$\mathbf{I} : \mathbf{11} \quad \mathbf{16}$$

$$\mathbf{i} : \mathbf{1} \quad \mathbf{6}$$

)

$$\mathbf{G(17)} = M_{uh} - \Phi_f M_{nh} \quad \mathbf{0} \quad (2-65)$$

$$M_{uh} :$$

$$M_{nh} :$$

)

$$\mathbf{G(18)} = S_{uh} - \Phi_s S_{nh} \quad \mathbf{0} \quad (2-66)$$

$$, S_{uh} :$$

$$S_{nh} :$$

)

$$\mathbf{G(19)} = M_{ut} - \Phi_f M_{nt} \quad \mathbf{0} \quad (2-67)$$

$$, M_{ut} :$$

$$M_{nt} :$$

)

$$\mathbf{G(20)} = S_{ut} - \Phi_s S_{nt} \quad \mathbf{0} \quad (2-68)$$

,  $S_{ut}$  :

$S_{nt}$  :

)

$$\mathbf{G(I)} = P_{\min} - P_{bi} \quad \mathbf{0} \quad (2-69)$$

,  $P_{bi}$  :  $i$

$I$  :  $21 \quad 26$

$i$  :  $1 \quad 6$

)

$$\mathbf{G(27)} = P_{\min} - P_h \quad \mathbf{0} \quad (2-70)$$

$$\mathbf{G(28)} = P_{\min} - P_t \quad \mathbf{0} \quad (2-71)$$

,  $P_h$  :

$P_t$  :

)

$$\mathbf{G(I)} = P_{bi} - P_{\max} \quad \mathbf{0} \quad (2-72)$$

$$\mathbf{G(35)} = P_h - P_{\max} \quad \mathbf{0} \quad (2-73)$$

$$\mathbf{G(36)} = P_t - P_{\max} \quad \mathbf{0} \quad (2-74)$$

,  $I$  :  $29 \quad 34$

$i$  :  $1 \quad 6$

.  
1)

,  
가

2)

(2-6)

10

$X_1$  :

$X_2$  :

$X_3$  :

$X_4$  :

$X_5$  :

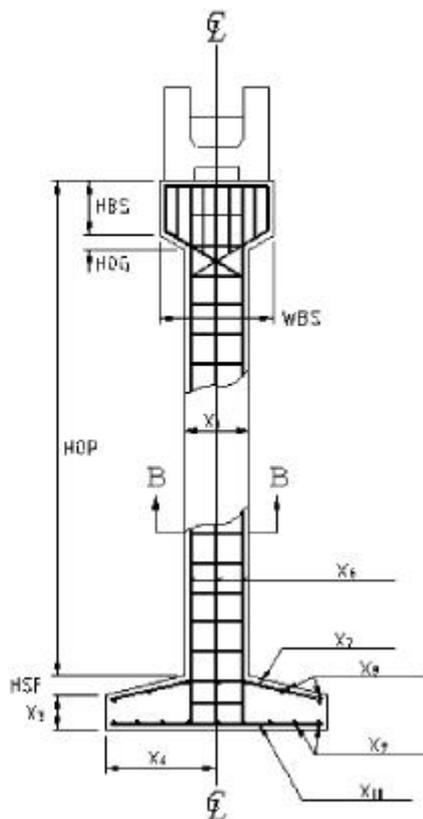
$X_6$  :

$X_7$  :

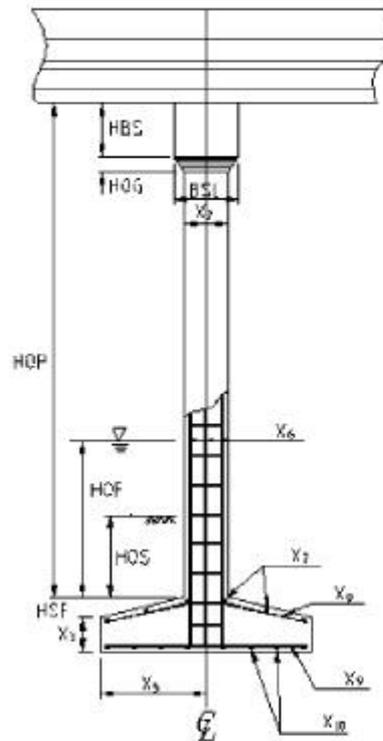
$X_8$  :

$X_9$  :

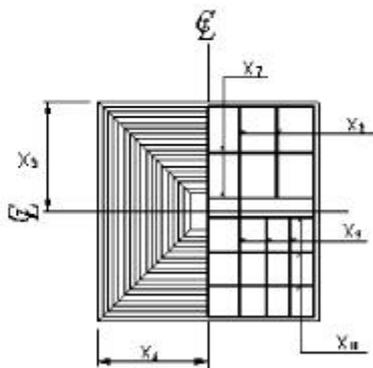
$X_{10}$  :



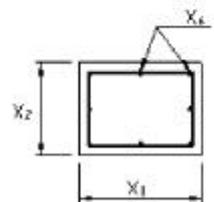
정면도  
FRONT VIEW



측면도  
SIDE VIEW



평면도  
PLAN



단면 B-B  
SECTION B-B

2-6

3)

(2-1)

4)

가)

$$G(1) = P_{pu} - \Phi_a P_{pn} = 0 \quad (2-75)$$

,  $P_{pu}$  :

$P_{pn}$  :

$\Phi_a$  :

)

$$G(2) = R_{max} - B_{allow} = 0 \quad (2-76)$$

,  $R_{max}$  :

$B_{allow}$  :

)

i

가 가

가

$$G(I) = M_{ufi} - \Phi_f M_{nfi} = 0 \quad (2-77)$$

,  $M_{ufi}$  :        **i**

$M_{nfi}$  :        **i**

**I** : **3**    **6**

**i** : **1**    **4**

)

가 2.0

$$G(7) = X_5 / X_4 - 2.0 \quad 0 \quad (2-78)$$

$$X_4 / X_5 - 2.0 \quad 0$$

)

$$G(8) = S_{uf} - \Phi_s S_{nf} \quad 0 \quad (2-79)$$

,  $S_{uf}$  :

$S_{nf}$  :

)

(Bearing Strength)

$$0.85 f_{ck}$$

$A_1$

$$B_{dc} = \Phi (0.85 f_{ck} A_1) \quad (2-80)$$

$$= 0.60$$

$$B_{df} = \Phi_b \Phi (0.85 f_{ck} A_1) \quad (2-81)$$

$$\Phi_b = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2$$

$A_1 :$

$A_2 :$

(1)

$$G(9) = B_{uc} - B_{dc} = 0 \quad (2-82)$$

,  $B_{uc} :$

$B_{dc} :$

(2)

$$G(10) = B_{uc} - B_{df} = 0 \quad (2-83)$$

,  $B_{df} :$

)

$$G(11) = AP_{\min} - AP = 0 \quad (2-84)$$

,  $AP_{\min} : 600.0 \text{ cm}^2$

$AP : (X_1 \cdot X_2)$

)

0.01, 0.08

$$G(12) = PP_{\min} - PP = 0 \quad (2-85)$$

$$G(13) = PP - PP_{\max} = 0 \quad (2-86)$$

,  $PP_{\min}$  :

$PP_{\max}$  :

$PP$  :  $(X_6 / (X_1 \cdot X_2))$

4.

가.

1

, ,

, , , ,

가

.

.

2-7

6

.

$X_1$  :

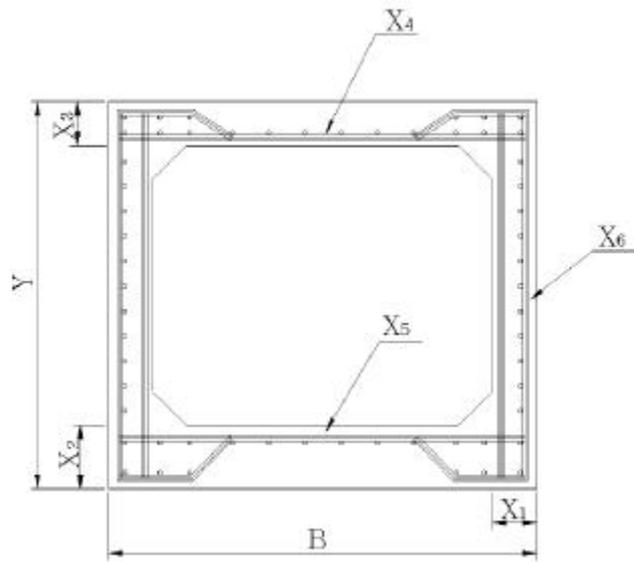
$X_2$  :

$X_3$  :

$X_4$  :

$X_5$  :

$X_6$  :



2-7

(1n)

(2-1)

1)

가)

가 10

$$\mathbf{G(I)} = M_{usi} - \Phi_f M_{nsi} \quad \mathbf{0} \quad (2-87)$$

,  $M_{usi}$  :  $\mathbf{i}$

$$\begin{array}{lcl}
 M_{nsi} & : & \mathbf{i} \\
 \mathbf{I} & : & \mathbf{1} \quad \mathbf{10} \\
 \mathbf{i} & : & \mathbf{1} \quad \mathbf{10}
 \end{array}$$

)

$$\mathbf{G(11)} = P_{\min} - P_s \quad \mathbf{0} \tag{2-88}$$

$$, P_{\min} :$$

$$P_s :$$

)

$$\mathbf{G(12)} = P_s - P_{\max} \quad \mathbf{0} \tag{2-89}$$

$$, P_{\max} :$$

)

가

$$\mathbf{G(13)} = S_{us1} - \Phi_s S_{ns1} \quad \mathbf{0} \tag{2-90}$$

$$, S_{us1} :$$

$$S_{ns1} :$$

$$\mathbf{G(14)} = S_{us2} - \Phi_s S_{ns2} \quad \mathbf{0} \tag{2-91}$$

$$, S_{us2} : \quad \text{가}$$

$$S_{ns2} : \quad \text{가}$$

2)

가)

가  $\mathbf{10}$

$$\mathbf{G(I)} = M_{ubi} - \Phi_f M_{nbi} \quad \mathbf{0} \quad (2-92)$$

$$, \quad M_{ubi} : \quad \mathbf{i}$$

$$M_{nbi} : \quad \mathbf{i}$$

$$\mathbf{I} : \mathbf{15} \quad \mathbf{24}$$

$$\mathbf{i} : \mathbf{1} \quad \mathbf{10}$$

)

$$\mathbf{G(25)} = P_{\min} - P_b \quad \mathbf{0} \quad (2-93)$$

$$, \quad P_b :$$

)

$$\mathbf{G(26)} = P_b - P_{\max} \quad \mathbf{0} \quad (2-94)$$

)

가

$$\mathbf{G(27)} = S_{ub1} - \Phi_s S_{nb1} \quad \mathbf{0} \quad (2-95)$$

$$, \quad S_{ub1} :$$

$$S_{nb1} :$$

$$\mathbf{G(28)} = S_{ub2} - \Phi_s S_{nb2} \quad \mathbf{0} \quad (2-96)$$

$$, \quad S_{ub2} : \quad \text{가}$$

$$S_{nb2} : \quad \text{가}$$

3)

가)

10

$$\mathbf{G(I)} = M_{uwi} - \Phi_f M_{nwi} \quad \mathbf{0} \quad (2-97)$$

$$\begin{aligned} & , M_{uwi} : \quad \mathbf{i} \\ & \quad M_{nwi} : \quad \mathbf{i} \\ & \quad \mathbf{I} : \mathbf{29} \quad \mathbf{38} \\ & \quad \mathbf{i} : \mathbf{1} \quad \mathbf{10} \end{aligned}$$

)

$$\mathbf{G(39)} = P_{\min} - P_w \quad \mathbf{0} \quad (2-98)$$

$$, P_w :$$

)

$$\mathbf{G(40)} = P_w - P_{\max} \quad \mathbf{0} \quad (2-99)$$

)

10

$$\mathbf{G(I)} = S_{uwi} - \Phi_s S_{nwi} \quad \mathbf{0} \quad (2-100)$$

$$\begin{aligned} & , S_{uwi} : \quad \mathbf{i} \\ & \quad S_{nwi} : \quad \mathbf{i} \\ & \quad \mathbf{I} : \mathbf{41} \quad \mathbf{50} \\ & \quad \mathbf{i} : \mathbf{1} \quad \mathbf{10} \end{aligned}$$

)

$$\mathbf{G(51)} = P_{uw} - \Phi_a P_{nw} \quad \mathbf{0} \quad (2-101)$$

,  $P_{uw}$  :

$P_{nw}$  :

)

$$\mathbf{G(52)} = P_{w, \min} - P_w \quad \mathbf{0} \quad (2-102)$$

,  $P_{w, \min}$  :

5.

가.

parameter

가

가

2-8

8

$X_1$  :

$X_2$  :

$X_3$  :

1π

$X_4$  :

1π

$X_5$  :

1π

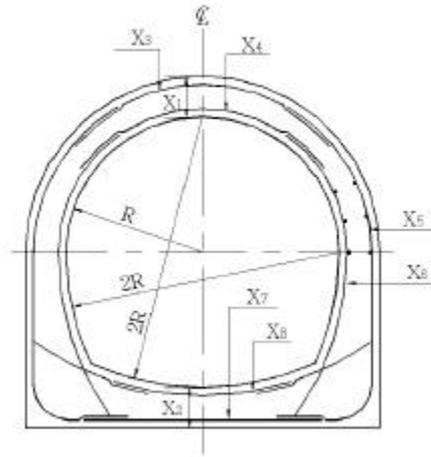
$X_6$  :

1π

$X_7$  :

1n

X



2-8

(1n)

(2-103)

$$C_{tun} = C_e V_e + C_c V_c + C_s V_s + C_f A_f$$

(2-103)

,  $C_{tun}$  :

(1n)

$C_e$  :

$C_c$  :

$C_s$  :

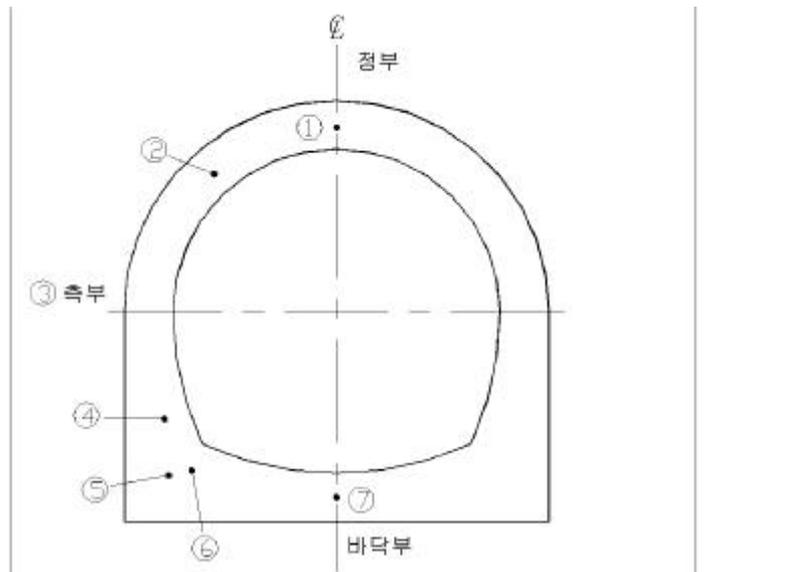
$C_f$  :

$V_e$  :

$V_c$  :

$V_s$  :

$A_f$  :



2-9

1)

$$\mathbf{G}(\mathbf{I}) = \mathbf{M}_{ui} - \Phi_f \mathbf{M}_{ri} = \mathbf{0} \quad (2-104)$$

$$\begin{aligned} & , \quad \mathbf{M}_{ui} : \quad \mathbf{i} \\ & \quad \mathbf{M}_{ri} : \quad \mathbf{i} \\ & \quad \mathbf{I} : \quad 1 \quad 7 \\ & \quad \mathbf{i} : \quad 1 \quad 7 \end{aligned}$$

2)

$$\mathbf{G}(\mathbf{I}) = \mathbf{S}_{ui} - \Phi_s \mathbf{S}_{ri} = \mathbf{0} \quad (2-105)$$

$$\begin{aligned}
 , S_{ui} &: i \\
 S_{ni} &: i \\
 I &: 8 \quad 14 \\
 i &: 1 \quad 7
 \end{aligned}$$

3)

$$G(I) = P_{ui} - \Phi_a P_{ii} = 0 \quad (2-106)$$

$$\begin{aligned}
 , P_{ui} &: i \\
 P_{ii} &: i \\
 I &: 15 \quad 21 \\
 i &: 1 \quad 7
 \end{aligned}$$

4)

0.10%,

0.15%

$$G(I) = P_{\min} - P_i = 0 \quad (2-107)$$

$$\begin{aligned}
 , P_{\min} &: \\
 P_i &: i \\
 I &: 22 \quad 28 \\
 i &: 1 \quad 7
 \end{aligned}$$

5)

$$D_i/30 (D_i) \quad ) \quad 10$$

cm 가

$$G(I) = T_{\min} - T_i = 0 \quad (2-108)$$

$$, T_{\min} :$$

$T_i : i$   
 $I : 29 \quad 35$   
 $i : 1 \quad 7$

6)

75%

$$G(I) = PI_i - P_{\max} \quad 0 \quad (2-109)$$

$$G(J) = PO_i - P_{\max} \quad 0 \quad (2-110)$$

,  $PI_i : i$

$PO_i : i$

$P_{\max} :$

$I : 36 \quad 42$

$J : 43 \quad 49$

$i : 1 \quad 7$

6.

가.

, , ,  
 , ,  
 .  
 ( )

가 .

가 " " .

.

「 」 가

가 .

$b = h^{\frac{2}{3}} / 1.5$

가 .

,  $b \geq h^{\frac{2}{3}} / 1.5$  가

$b < h^{\frac{2}{3}} / 1.5$  가

가 .

가 .

가 .

parameter 가

가

.

.

2-10

6

.

$X_1 :$

$X_2 :$

$X_3 :$

$X_4 :$

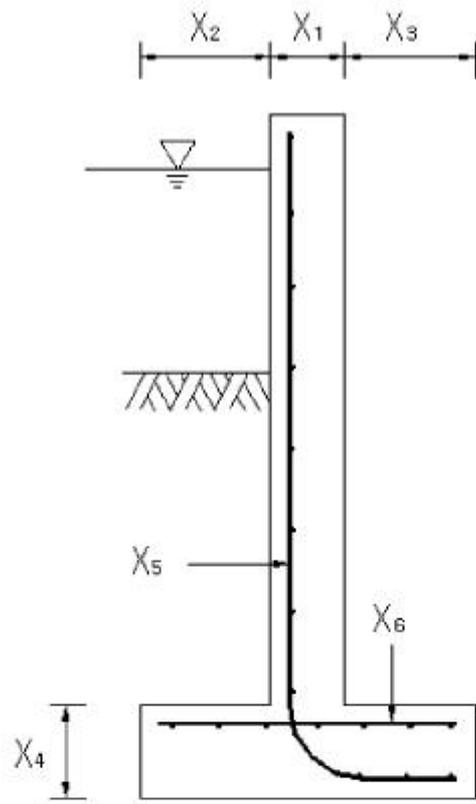
$X_5 :$

**1n**

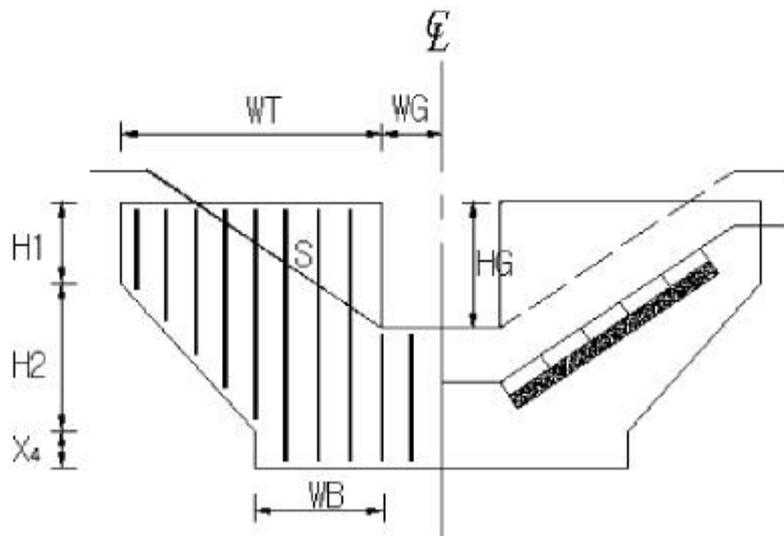
**1n**

$X_6 :$

**1n**



(a) 측면도



(b) 정면도

2-10

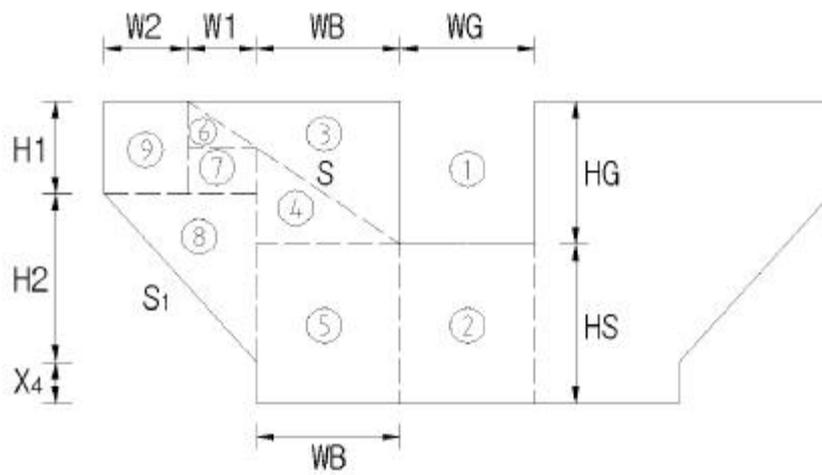
(2-1)

1)

가 2-10  
가

가 2-11

9



2-11

2)

$$G(1) = S_o - \frac{M_r}{M_o} \quad 0 \quad (2-111)$$

,  $S_o$  :  
 $M_r$  : ,  
 $M_o$  :

3)

$$G(2) = S_s - \frac{\kappa(\sum W_i)}{P_h} \quad (2-112)$$

,  $S_s$  :  
 $\kappa$  :  
 $\sum W_i$  :  
 $P_h$  :

4)

**R**

**1/3**

$$G(3) = e - e^u = 0 \quad (2-113)$$

$$G(4) = e^l - e = 0 \quad (2-114)$$

,  $e$  :  $\sum W_i$

$$e^u = \frac{B}{6.0}$$

$$e^l = - \frac{B}{6.0}$$

$B$  :

5)

$$G(5) = P - S_{allow} = 0 \quad (2-115)$$

$$, P = \frac{\sum W_i}{B} (1 + \frac{6e^-}{B})$$

$S_{allow}$  :

6)

가)

$$G(6) = M_{ud} - \Phi_f M_{nd} = 0 \quad (2-116)$$

,  $M_{ud}$  :

$M_{nd}$  :

)

$$G(7) = S_{ud} - \Phi_s S_{nd} = 0 \quad (2-117)$$

,  $S_{ud}$  :

$S_{nd}$  :

7)

가

가)

$$G(8) = M_{uh} - \Phi_f M_{nh} = 0 \quad (2-118)$$

,  $M_{uh}$  :

$M_{nh}$  :

)

$$G(9) = S_{uh} - \Phi_s S_{nh} = 0 \quad (2-119)$$

,  $S_{uh}$  :

$S_{nh}$  :

8)

가)

$$G(10) = M_{ut} - \Phi_f M_{nt} = 0 \quad (2-120)$$

,  $M_{ut}$  :

$M_{nt}$  :

)

$$G(11) = S_{ut} - \Phi_s S_{nt} = 0 \quad (2-121)$$

,  $S_{ut}$  :

$S_{nt}$  :

9)

가)

$$G(12) = P_{d, \min} - X(5) = 0 \quad (2-122)$$

,  $P_{d, \min}$  :

)

$$G(13) = P_{h, \min} - X(6) = 0 \quad (2-123)$$

,  $P_{h, \min}$  :

)

$$G(14) = P_{t, \min} - X(5) = 0 \quad (2-124)$$

,  $P_{t, \min}$  :

10)

$$G(15) = X(5) - P_{d, \max} = 0 \quad (2-125)$$

,  $P_{d, \max}$  :

11)

$$G(16) = X(4) - H_t = 0 \quad (2-126)$$

,  $H_t$  :

## 4

1.

가 .

가

가

가

(Modified

Method of Feasible Direction : MFD),

(Sequential Linear

Programming : SLP),

(Sequential Quadratic Programming : SQP)

.

가

S/W

VR&D

DO1, Visual DOC .

6

Computer

Program

DO1(Design Optimization Tools)

2.

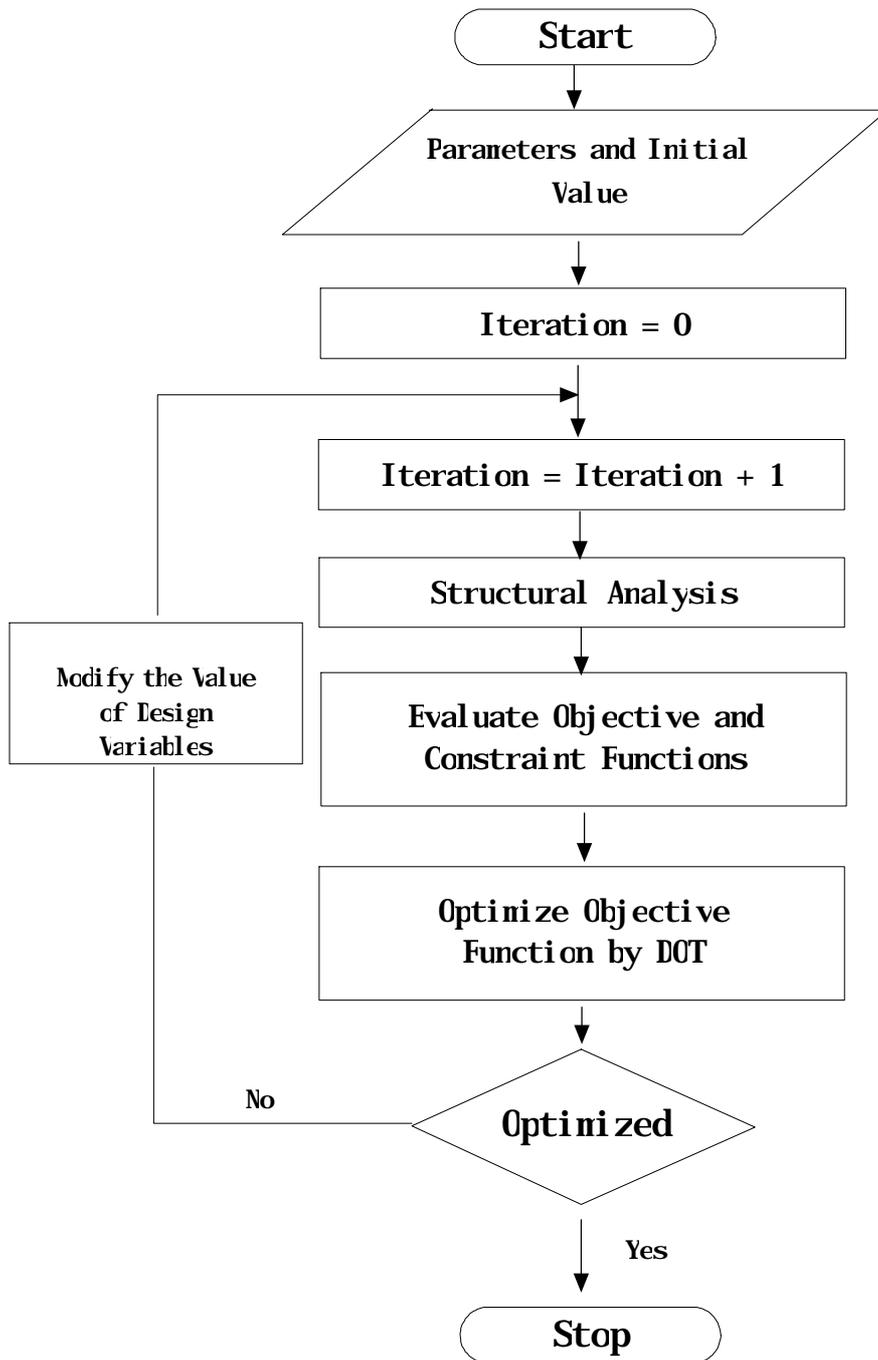
DOI

X

DOI

가

2-12



3. DOT (Design Optimization Tools)

DOT

program

Garret N Vanderplaats

Vanderplaats 1970

UCLA

1987

UCLA

VMA Engineering(Vanderplaats, Mura & Associates, Inc)

DOT, DOC, GENESIS

S/W

가 1995

VR&D(Vanderplaats Research & Development, Inc)

VR&D

DOT

DOC

VMA

GENESIS

DOT Version 4.X

source program

가

DOT

Version 5.0

source program

object code

compile DOT object code

DOT FORTRAN 77

가

program

FORTRAN 77

C

가

4.

DOT

subroutine

object code

가

main program

가

subroutine



```

X(I)
XL(I)
XU(I)

```

. SUBROUTINE

```

subroutine
2-13 OBJ G(I) X(I)
subroutine

```

```

DIMENSION X(MV), XL(MV), XU(MV), C(CGM), VK(EIG), IVK(EIG),
* RPRM(20), IPRM(20)
C DIMENSIONS OF VK AND IVK
MV=?
MIV=?
C ZERO RPRM AND IPRM
DO 10 I=1, 20
RPRM(I)=0.0
10 IPRM(I)=0
C AT THIS POINT SET ANY ENTRIES OF RPRM AND IPRM
C TO THEIR DESIRED VALUES IF THE DEFAULTS ARE
C TO BE OVER-RIDDEN.
C E. G.
C RPRM(1)=-0.01

```

```

C DEFINE NDV, NCON, IPRINT, MINMAX, METHOD
    MV=?
    NCON=?
    IPRINT=?
    MINMAX=?
    METHOD=?
C DEFINE X, XL, XU
    X(I)=?, I=1, MV
    XL(I)=?, I=1, MV
    XU(I)=?, I=1, MV
C READY TO OPTIMIZE
    INFO=0
    20 CALL DOT(INFO, METHOD, IPRINT, NDV, NCON, X, XL, XU,
        * OBJ, MINMAX, G, RPRN, IPRN, VR, NRVK, IVK, NRIVK)
C EVALUATE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS. YOU MAY CALL ONE
C OR MORE SUBROUTINES TO DO THIS.
C FINISHED ?
C IF (INFO.EQ.0) GO TO 30
C EVALUATE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS
C GO CONTINUE WITH OPTIMIZATION
    CALL EVAL(OBJ, X, G)
C OPTIMIZATION IS COMPLETE. OUTPUT RESULTS
    GO TO 20
30 CONTINUE
    STOP
    END
C
    SUBROUTINE EVAL(OBJ, X, G)
C

```

**C SUBROUTINE TO EVALUATE THE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS**

**DIMENSION  $\lambda(MV)$ ,  $C(NCN)$**

**$C(J)=?$**

**$C(I)=?$ ,  $I=1$ ,  $NCN$**

**RETURN**

**END**

2-13 가

**5**

**1. DCT Computer System**

**DCT**

.

**가. Personal Computer (PC)**

**1) Operating system :**

**Windows 95/98 or Windows NT 4.0**

**2) Memory**

**가) Ram : 16 Mbytes**

**) Hard Disk : 10 Mbytes**

**\* Hard Disk**

.

**3) Compiler**

**Digital Visual Fortran 5.0/6.0**

**Microsoft Powerstation Fortran 4.0**

**Microsoft Visual C++ 5.0/6.0**

**. Workstation, Mini-Super and Super Computers**

**1) Operating System**

**SUN machines running Solaris 2.5**

**Version**



3.

6

Code

6

DOT object code가 link

EVAL subroutine

SUBROUTINE EVAL

6

가

Computer Program

SUBROUTINE EVAL

parameter

가.

(METHOD)

. SUBROUTINE EVAL

SUBROUTINE EVAL

가

parameter

「 C PARAMETERS 」

「 C THE END OF PARAMETERS 」

parameter

parameter

1)

TOTHT		cm
UPLOAD		kg/cm <sup>2</sup>
SOILVT		kg/cm <sup>3</sup>
CONCVT		kg/cm <sup>3</sup>
FAIDEG		°
FRICCO		
SIGMCK		kg/cm <sup>2</sup>
SIGMAY		kg/cm <sup>2</sup>
INDFOR		
	1 : Rankine	
	2 : Coulomb	
DEALPA		°
DIHEIA		°
DDELTA		°
SAFE0V		
SAFESL		
ALLSUP		
COVSIM		cm
COVHEL		cm
COVIOE		cm
DIAMETER		cm
FAIM		
FAIS		
UNICON		/m <sup>3</sup>
UNISIL	1Ton	/T
UNIFOM		/m <sup>2</sup>
STELVT		T/m <sup>3</sup>

2)

<b>LOAD</b>	<b>DB</b>	
	<b>1 : DB24 , 2 : DB18 , 3 : DB13.5</b>	
<b>PURSPN</b>		cm
<b>EFFVID</b>		cm
<b>WETSUR</b>		kg/cm <sup>2</sup>
<b>SIGMCK</b>		kg/cm <sup>2</sup>
<b>SIGMAY</b>		kg/cm <sup>2</sup>
<b>WIDBEM</b>	<b>Edge Beam</b>	cm
<b>CONCVT</b>		kg/cm <sup>3</sup>
<b>FACDED</b>		
<b>FACLIV</b>		
<b>COVER</b>		cm
<b>DIAMETER</b>		cm
<b>FAIM</b>		
<b>UNICON</b>		/m <sup>3</sup>
<b>UNISTL</b>	<b>1Ton</b>	/T
<b>UNIFOM</b>		/m <sup>2</sup>
<b>STELVT</b>		T/m <sup>3</sup>

3) T

<b>BRILEN</b>		cm
<b>GIRLEN</b>		cm
<b>SPAN</b>		cm
<b>PURVID</b>		cm
<b>TOTVID</b>		cm
<b>WETSUR</b>		kg/m <sup>2</sup>
<b>SIGMCK</b>		kg/cm <sup>2</sup>

CONCVT		kg/m <sup>3</sup>
PAVTHI		cm
SIGMAY		kg/m <sup>2</sup>
ASPHVT		kg/m <sup>3</sup>
OUTFLN	Flange	cm
HTWALK		cm
VDWALK		cm
FACDED		
FACLIV		
HANDED	Hand Rail	kg/m
NGIRDER		
HORFOR	Hand Rail	kg/m
HTHAND	Hand Rail	cm
COVER		cm
DIAMETER		cm
FAIM		
VDHOBM	가	cm
HTHOBM	가	cm
ALPA	Stirrup	o
LOAD	DB 1 : DB24 , 2 : DB18 , 3 : DB13.5	
UNICON		/m <sup>3</sup>
UNISIL	1Ton	/T
UNIFOM		/m <sup>2</sup>
STELVT		T/m <sup>3</sup>

4)

SPAN		cm	
VD		cm	2-4
TH		cm	2-4
VL		cm	2-4
SH		cm	2-4
UH		cm	2-4
HW		cm	2-4
HH		cm	2-4
GAMAC		kg/cm <sup>3</sup>	
VIND		kg/cm <sup>2</sup>	
GAMAW		kg/cm <sup>3</sup>	
FACDED			
ALPA		°	
SIGMCK		kg/cm <sup>2</sup>	
SIGMAY		kg/cm <sup>2</sup>	
SLBPRM		cm	
GIRPRM		cm	
VALPRM		cm	
FAIM			
FAIV			
FAICOL			
UNICON		/m <sup>3</sup>	
UNISIL	1Ton	/T	
UNIFOM		/m <sup>2</sup>	
STELVT		T/m <sup>3</sup>	

5)

HA		cm	2-5
SPAN		cm	
UX(1)	X1	cm	
UX(2)	X2	cm	
UX(3)	X3	cm	
UX(4)	X4	cm	
UX(5)	X5	cm	
UVD		cm	
USH		cm	
UWL		cm	
UTH		cm	
UUH		cm	
UHW		cm	
UHH		cm	
THNECK		cm	
GAVAS		kg/cm <sup>3</sup>	
GAVAC		kg/cm <sup>3</sup>	
GAWAW		kg/cm <sup>3</sup>	
FALDEG		°	
FRICCO			
SIGMCK		kg/cm <sup>2</sup>	
SIGMAY		kg/cm <sup>2</sup>	
SAFE0V			
SAFESL			

ALLSUP		kg/cm <sup>2</sup>	
BODPRM		cm	
HELPRM		cm	
TOEPRM		cm	
DIAMETER		cm	
FAIM			
FAIS			
FACDED			
FAI		°	
ALFA	Coulomb	°	
BETA	Coulomb	°	
UNICON		/m <sup>3</sup>	
UNISIL	1Ton	/T	
UNIFOM		/m <sup>2</sup>	
STELVT		T/m <sup>3</sup>	

6)

HOP		cm	2-6
SPAN		cm	
UX(1)	X1	cm	
UX(2)	X2	cm	
UX(3)	X3	cm	
UX(4)	X4	cm	
UX(5)	X5	cm	
UVD		cm	

<b>USH</b>		<b>cm</b>	
<b>UWL</b>		<b>cm</b>	
<b>UTH</b>		<b>cm</b>	
<b>UUH</b>		<b>cm</b>	
<b>UHW</b>		<b>cm</b>	
<b>UHH</b>		<b>cm</b>	
<b>GAMAS</b>		<b>kg/cm<sup>3</sup></b>	
<b>GAMAC</b>		<b>kg/cm<sup>3</sup></b>	
<b>GAMAW</b>		<b>kg/cm<sup>3</sup></b>	
<b>HBS</b>		<b>cm</b>	<b>2-6</b>
<b>VBS</b>		<b>cm</b>	<b>2-6</b>
<b>HSF</b>		<b>cm</b>	<b>2-6</b>
<b>BSL</b>		<b>cm</b>	<b>2-6</b>
<b>HOG</b>		<b>cm</b>	<b>2-6</b>
<b>HOF</b>		<b>cm</b>	<b>2-6</b>
<b>HOS</b>		<b>cm</b>	<b>2-6</b>
<b>WINDP</b>		<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	
<b>WATVEL</b>		<b>n/s</b>	
<b>FAIDEG</b>		<b>o</b>	
<b>FAI</b>		<b>o</b>	
<b>FRICCO</b>			
<b>SIGMCK</b>		<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	
<b>SIGMAY</b>		<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	
<b>SAFEOV</b>			

SAFESL			
ALLSUP		kg/cm <sup>2</sup>	
PIEPRM		cm	
TIFPRM		cm	
BFI PRM		cm	
DIAMETER		cm	
FAIM			
FAIS			
FAIC			
FAIBER			
FACDED			
UNICON		/m <sup>3</sup>	
UNISIL	1Ton	/T	
UNIFOM		/m <sup>2</sup>	
STELWT		T/m <sup>3</sup>	

7)

B		cm	2-7
Y		cm	2-7
HCUL		cm	
HPAV		cm	
GAMAA		kg/cm <sup>3</sup>	
GAMAC		kg/cm <sup>3</sup>	
GAMAT		kg/cm <sup>3</sup>	
GAMASAT		kg/cm <sup>3</sup>	
DEGREE		°	

SIGMCK		kg/cm <sup>2</sup>	
SIGMAY		kg/cm <sup>2</sup>	
HWAT		cm	
B1		cm	
B2		cm	
NSG			
	1 : Hard Ground 2 : Soft Ground		
SLBPRM		cm	
BCTPRM		cm	
VALPRM		cm	
LOAD	DB 1 : DB-24 , 2 : DB-18 , 3 : DB-13.5		
FAIM			
FAIV			
FAICOL			
UNICON		/m <sup>3</sup>	
UNISIL	1Ton	/T	
UNIFOM		/m <sup>2</sup>	
STELVT		T/m <sup>3</sup>	

8)

GAMAST		ton/m <sup>3</sup>	
GAMAC		ton/m <sup>3</sup>	
GAMAW		ton/m <sup>3</sup>	
FAIDEG		o	
SOPRCO			
SIGMCK		kg/cm <sup>2</sup>	



9)

SOILWT		kg/cm <sup>3</sup>	
CONCWT		kg/cm <sup>3</sup>	
GAMAW		kg/cm <sup>3</sup>	
FAIDEG		°	
FRICCO			
SIGMCK		kg/cm <sup>2</sup>	
SIGMAY		kg/cm <sup>2</sup>	
INDFOR			
	1 : Rankine		
	2 : Coulomb		
DEALPA		°	
DTHETA		°	
DDELTA		°	
SAFEQV			
SAFESL			
ALLSUP		kg/cm <sup>2</sup>	
COVSTM		cm	
COVHEL		cm	
COVIOE		cm	
DIAMFIER		cm	
FAIM			
FAIS			
H1		cm	2-10
H2		cm	2-10
VT		cm	2-10
VB		cm	2-10
VG		cm	2-10
HG		cm	2-10
S			
UNICON		/m <sup>3</sup>	
UNISIL	ITon	/T	
UNIFOM		/m <sup>2</sup>	2-10
STELWT		T/m <sup>3</sup>	

# 6

1.

$(\quad)$   $(\quad)$  .  
 가 n  $f(\mathbf{X})$ 가  $\mathbf{X}$   
 (2-127)  $\mathbf{X}^*$  .  
 $f(\mathbf{X}^*)$   $f(\mathbf{X})$  (2-127)  
 (2-127)  $\mathbf{X}^*$   $\mathbf{X}$  가  $\mathbf{X}^*$   
 (strict global minimum) .  
 n  $f(\mathbf{X})$  (2-127)  
 $\mathbf{X}^*$   $\mathbf{X}^*$   $\mathbf{X}$   
 $\mathbf{X}^*$  .  
 (strict local minimum) .

2.

가 .  
 가 .  
 가 .  
 .  
 ,  
 가 .  
 ,  
 ,  
 ,

3.

가 10가  
가

6

2-1 2-9

Des. Var. :

Din. :

XL :

Initial Value :

Xu :

Optimum Design Variables :

MFD : (Modified Method of Feasible Direction)

SLP : (Sequential Linear Programming)

SQP : (Sequential Quadratic Programming)

Obj. Func. :

No. of Iteration :

No. of Function Evaluation : ( )

가.

400cn 800cn 50cn

Parameter 가

가 700.0cm

2-1

2-1

Des. Var.	Dim.	XL	Initial Value	XU	Optimum Design Variables			Remarks
					MFD	SLP	SQP	
X1	cm	20.00	35.00	500.00	20.0000	20.0131	20.0000	
X2	cm	20.00	60.00	500.00	51.7423	52.3479	51.5271	
X3	cm	20.00	100.00	1000.00	34.4115	34.2305	34.4850	
X4	cm	20.00	260.00	2000.0	319.8350	319.4060	320.0180	
X5	cm	15.00	35.00	500.00	15.0000	15.0000	15.0000	
X6	cm	15.00	55.00	500.00	114.9700	114.8200	115.0580	
X7	cm	15.00	47.00	500.00	15.0000	15.0031	15.0000	
X8	cm <sup>2</sup>	0.08	15.20	200.00	10.0873	10.1860	10.0831	
X9	cm <sup>2</sup>	0.08	15.20	200.00	13.7980	13.9579	13.7670	
X10	cm <sup>2</sup>	0.08	15.20	200.00	25.1616	24.8023	25.2618	
X11	cm <sup>2</sup>	0.08	15.20	200.00	46.6229	45.9263	46.8687	
X12	cm <sup>2</sup>	0.08	40.54	200.00	50.7267	50.6571	50.7918	
X13	cm <sup>2</sup>	0.08	7.94	200.00	49.3267	49.2571	49.3678	
Obj. Func.	Von				1,112,620	1,112,650	1,112,900	
No. of Iteration					11	23	12	
No. of Function Evaluation					224	327	190	

4. 5π,

7. 9π

DB- 18

2-2

2-2

Des. Var.	Dim.	XL	Initial Value	XU	Optimum Design Variables			Remarks
					MFD	SLP	SQP	
X1	cm	25. 0	25. 0	500. 0	25. 0000	25. 0107	25. 0000	
X2	cm	15. 0	33. 0	500. 0	27. 6190	26. 9181	26. 8956	
X3	cm <sup>2</sup>	0. 0	33. 78	500. 0	36. 1654	37. 5726	37. 5915	
X4	cm <sup>2</sup>	0. 0	20. 268	500. 0	13. 5379	13. 3449	13. 3330	
Obj. Func.	Von				3, 181, 970	3, 183, 750	3, 183, 140	
No. of Iteration					6	8	5	
No. of Function Evaluation					64	43	31	

. T

(橋長) 13.64m, 13.00m, 7.50m, 8.30m T DB-18

2-3

2-3 T

Des. Var.	Dim.	XL	Initial Value	XU	Optimum Design Variables			Remarks
					MFD	SLP	SQP	
X1	cm	10.0	22.0	100.0	21.15	23.02	23.13	
X2	cm	10.0	16.0	100.0	16.61	17.81	15.79	
X3	cm <sup>2</sup>	0.08	9.0	300.0	8.54	7.54	7.54	
X4	cm <sup>2</sup>	0.08	12.50	300.0	12.21	10.81	13.23	
X5	cm	20.0	70.0	300.0	120.97	109.51	88.32	
X6	cm	46.0	47.0	300.0	46.00	48.20	46.00	
X7	cm <sup>2</sup>	0.08	70.0	500.0	105.45	115.30	137.90	
X8	cm <sup>2</sup>	0.08	70.0	500.0	105.67	116.19	139.76	
X9	cm <sup>2</sup>	0.08	1.80	300.0	1.77	1.62	1.47	
X10	cm	5.0	25.0	300.0	25.69	28.73	6.77	
X11	cm <sup>2</sup>	0.08	2.0	300.0	1.97	0.92	0.28	
X12	cm	5.0	29.0	500.0	29.00	18.41	6.21	
Obj. Func.	Von				15,814,800	15,573,900	15,382,200	
No. of Iteration					7	16	33	
No. of Function Evaluation					122	224	496	

1)

1200cn, 160cn, 가 110cn

2-4

2-4

Des. Var.	Din.	XL	Initial Value	XU	Optimum Design Variables			Remarks
					MFD	SLP	SQP	
X1	cm	8.0	20.0	500.0	8.0060	8.0006	8.0000	
X2	cm	8.0	20.0	500.0	8.0000	8.0655	8.0000	
X3	cm <sup>2</sup>	0.0	19.08	500.0	4.4761	4.4832	4.4796	
X4	cm <sup>2</sup>	0.0	3.57	500.0	5.2889	5.1449	5.2921	
X5	cm <sup>2</sup>	0.0	3.57	500.0	4.9539	4.9604	4.9538	
Obj. Func.	Von				$2.69168 \times 10^6$	$2.69196 \times 10^6$	$2.6917 \times 10^6$	
No. of Iteration					5	9	7	
No. of Function Evaluation					36	59	50	

2)

1200cn, 250cn

2-5

2-5

Des. Var.	Din.	XL	Initial Value	XU	Optimum Design Variables			Remarks
					MFD	SLP	SQP	
X1	cm	10.0	15.0	500.0	14.5492	14.5503	14.5493	
X2	cm	10.0	15.0	500.0	12.1627	12.1664	12.1628	
X3	cm	10.0	110.0	500.0	105.869	105.753	105.785	
X4	cm	10.0	25.0	500.0	21.3472	21.3905	21.3463	
X5	cm	10.0	30.0	500.0	28.8676	28.8652	28.8645	
X6	cm <sup>2</sup>	0.0	20.0	500.0	17.7438	17.7491	17.7437	
X7	cm <sup>2</sup>	0.0	20.0	500.0	17.1492	17.1984	17.1482	
X8	cm <sup>2</sup>	0.0	20.0	500.0	17.1493	17.1984	17.1482	
Obj. Func.	Von				$4.62604 \times 10^5$	$4.62819 \times 10^5$	$4.62600 \times 10^5$	
No. of Iteration					7	4	3	
No. of Function Evaluation					89	37	30	

3)

1200cm, 400cm

2-6

2-6

Des. Var.	Di n.	XL	Initial Value	XU	Optinum Design Variables			Remarks
					MFD	SLP	SQP	
X1	cm	20.0	30.0	500.0	59.9881	61.9238	63.5522	
X2	cm	20.0	25.0	500.0	20.0000	20.0471	20.0000	
X3	cm	10.0	20.0	500.0	11.8601	10.0180	10.0000	
X4	cm	10.0	60.0	900.0	65.3759	71.8789	69.6825	
X5	cm	10.0	67.5	900.0	62.2906	56.5767	58.3468	
X6	cm <sup>2</sup>	11.944	33.888	300.0	37.4784	30.4358	31.0824	
X7	cm <sup>2</sup>	0.0	2.62	40.0	2.5942	0.8725	0.7630	
X8	cm <sup>2</sup>	0.0	2.62	40.0	2.5841	1.1335	1.2214	
X9	cm <sup>2</sup>	0.0	4.068	50.0	4.2367	3.6267	3.9105	
X10	cm <sup>2</sup>	0.0	5.944	150.0	5.7307	2.7904	2.3932	
Obi. Func.	Won				$3.8514 \times 10^3$	$3.64348 \times 10^3$	$3.69513 \times 10^3$	
No. of Iteration					10	31	50	
No. of Function Evaluation					141	358	645	

Parameter 가

가 250cm × 250cm

가 300cm

2-7

2-7

Des. Var.	Dim.	XL	Initial Value	XU	Optimum Design Variables			Remarks
					MFD	SLP	SQP	
X1	cm	10.0	25.0	500.0	32.3284	32.3417	32.3402	
X2	cm	10.0	25.0	500.0	47.5049	47.5258	47.5110	
X3	cm	10.0	25.0	500.0	35.4082	35.5149	35.4104	
X4	cm <sup>2</sup>	0.0	15.27	500.0	14.1905	14.2420	14.2123	
X5	cm <sup>2</sup>	0.0	15.27	500.0	18.9674	18.9121	18.9076	
X6	cm <sup>2</sup>	0.0	15.27	500.0	14.4562	14.4366	14.4465	
Obj. Func.	Non				$8.87569 \times 10^5$	$8.87973 \times 10^5$	$8.87568 \times 10^5$	
No. of Iteration					8	7	7	
No. of Function Evaluation					69	50	58	

1. 3π

2-8

2-8

Des. Var.	Dim.	XL	Initial Value	XU	Optimum Design Variables			Remarks
					MFDD	SLP	SQP	
X1	m	0.100	0.2000	5.000	0.1498	0.1623	0.1430	
X2	m	0.100	0.2200	5.000	0.2051	0.1923	0.1890	
X3	m <sup>2</sup>	0.000	$5.068 \times 10^4$	$5.0 \times 10^1$	$1.4996 \times 10^4$	$1.6237 \times 10^4$	$1.4309 \times 10^4$	
X4	m <sup>2</sup>	0.000	$3.568 \times 10^4$	$5.0 \times 10^1$	$1.2681 \times 10^3$	$1.1060 \times 10^3$	$1.3895 \times 10^3$	
X5	m <sup>2</sup>	0.000	$4.568 \times 10^4$	$5.0 \times 10^1$	$1.3671 \times 10^3$	$1.1967 \times 10^3$	$1.5038 \times 10^3$	
X6	m <sup>2</sup>	0.000	$4.068 \times 10^4$	$5.0 \times 10^1$	$2.2482 \times 10^4$	$2.4356 \times 10^4$	$2.1505 \times 10^4$	
X7	m <sup>2</sup>	0.000	$5.068 \times 10^4$	$5.0 \times 10^1$	$2.0509 \times 10^4$	$1.9235 \times 10^4$	$1.8962 \times 10^4$	
X8	m <sup>2</sup>	0.000	$11.50 \times 10^4$	$5.0 \times 10^1$	$1.2998 \times 10^3$	$1.6177 \times 10^3$	$1.4752 \times 10^3$	
Obj. Func.	Won				$1.0936 \times 10^7$	$1.10012 \times 10^7$	$1.09028 \times 10^7$	
No. of Iteration					16	50	7	
No. of Function Evaluation					207	473	72	

180cm, 175cm

2-9

2-9

Des. Var.	Dim.	XL	Initial Value	XU	Optimum Design Variables			Remarks
					MFDD	SLP	SQP	
X1	cm	20.0	20.0	200.0	20.0000	20.0197	20.0000	
X2	cm	20.0	50.0	1000.0	51.6009	51.4540	51.7339	
X3	cm	20.0	25.0	1000.0	21.4170	21.5172	21.3837	
X4	cm	15.0	18.0	300.0	15.0000	15.0006	15.0000	
X5	cm <sup>2</sup>	$0.8 \times 10^1$	8.0	50.0	6.40733	6.4187	6.4091	
X6	cm <sup>2</sup>	$0.8 \times 10^1$	8.0	50.0	4.07400	4.0742	4.0744	
Obj. Func.	Won				$5.60399 \times 10^7$	$5.60569 \times 10^7$	$5.60457 \times 10^7$	
No. of Iteration					5	4	3	
No. of Function Evaluation					51	28	23	

7

1.

CAD

가 T  
Graphic)

CG(Computer

2-10 2-11

(C. I. C)

가

2-10

			F/G	IISP
(wall)	(front)	1 (positive-steel-1)	V1	Wall_Front_PS1
		2 (positive-steel-2)	V2	Wall_Front_PS2
		(horizon-steel)	V5	Wall_Front_HS
	(back)	(positive-steel)	V3	Wall_Back_PS
		(negative-steel)	V4	Wall_Back_NS
	(stirrup)		S1	Wall_Stirrup
	(upper-steel)		V6	Wall_US
(plate)	(up)	(positive-steel)	F2	Plate_Up_PS
		(negative-steel)	F1	Plate_Up_NS
		(horizon-steel)	F5	Plate_Up_HS
	(down)	(positive-steel)	F4	Plate_Down_PS
		(negative-steel)	F3	Plate_Down_NS
		(horizon steel)	F6	Plate_Down_HS
	(stirrup)	(forefoot)	S3	Plate_Stirrup_FF
		(hindfoot)	S2	Plate_Stirrup_HF

2-11

	1	2	3	LISP	
(plate)			(height)	Plate_Height	
			(width)	Plate_Width	
	(length)			(forefoot)	Plate_Length_FF
				(middle)	Plate_Length_M
				(hindfoot)	Plate_Length_HF
	(up)	(ctc)		(forefoot)	Plate_Up_Ctc_FF
				(hindfoot)	Plate_Up_Ctc_HF
	(down)	(ctc)		(forefoot)	Plate_Down_Ctc_FF
			(hindfoot)	Plate_Down_Ctc_HF	
(wall)			(height)	Wall_Height	
	(upper)		(length)	Wall_Upper_Length	
			(cover)	Wall_Upper_Cover	
	(ctc)		(super)	Wall_Ctc_Super	
			(sub)	Wall_Ctc_Sub	

2.

DB

가. 3

, 가

3

3D

Auto CAD Auto-Lisp

3D

3D

code

. 3D

2D

3D

가 .

가

가

3D

2D

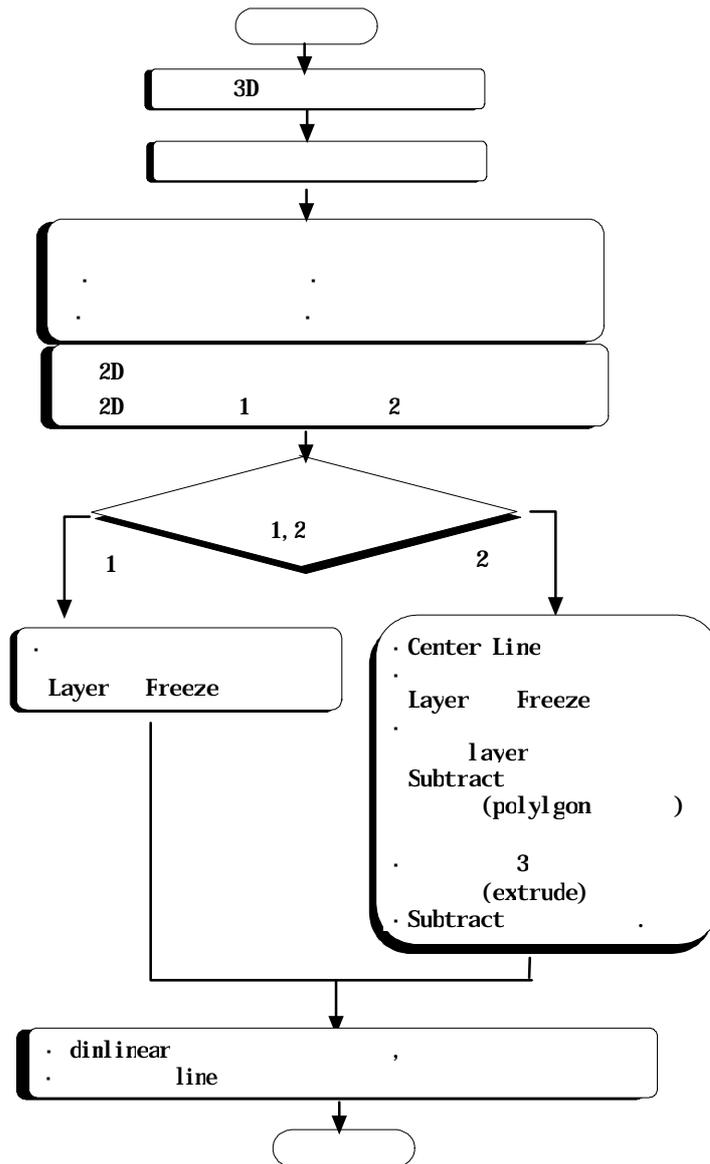
3D

2D

Interactive

가

2-15 .



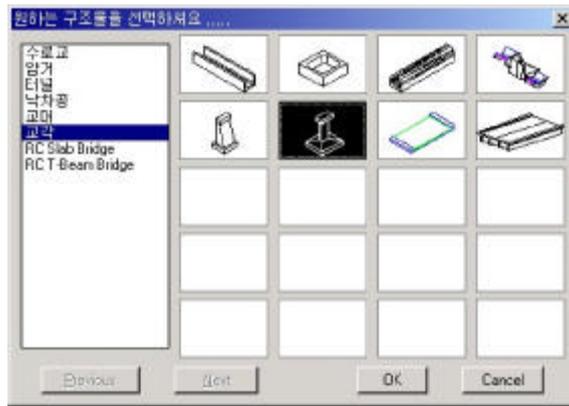
2-15 3D

2D

가

1)  
가)

2-16



2-16

)

parameter

2-17

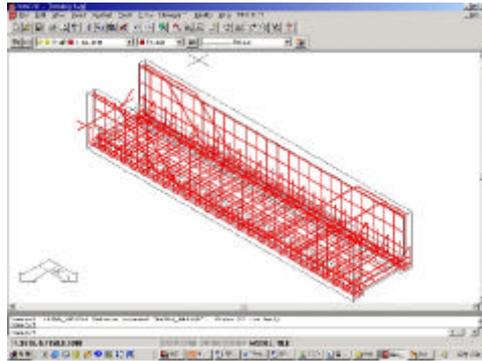
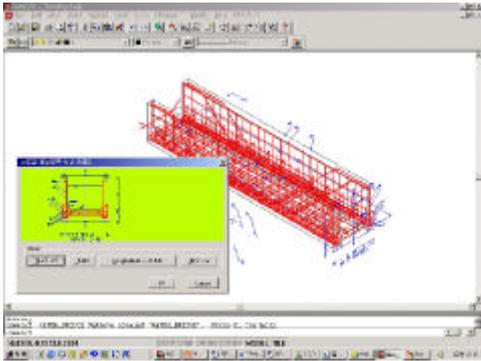


2-17

) 2-18 3

2-19 3

가 .



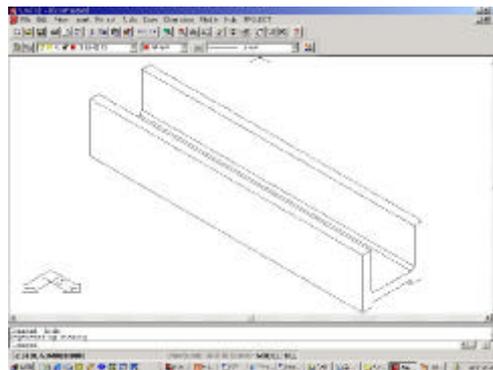
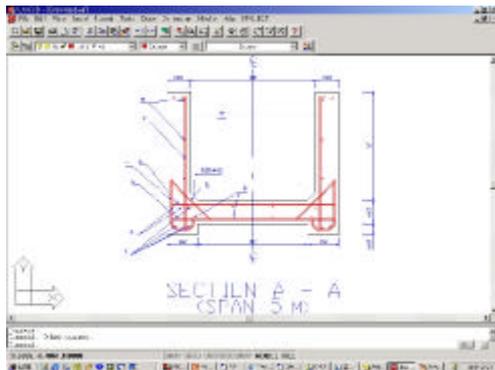
2-18

2-19 3

) 2-20

2-21

3



2-20

2-21

3

2) T

T

3D

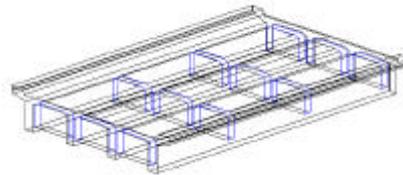
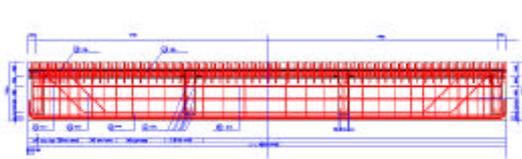
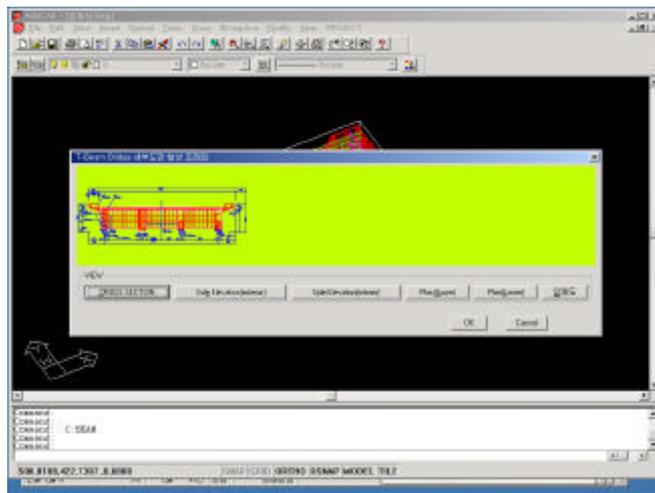
2-22

T

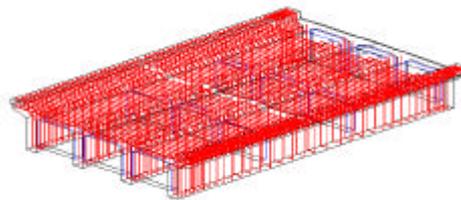
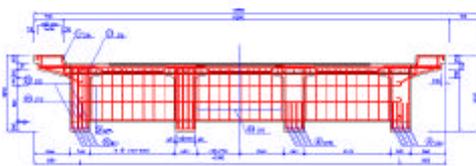
3

3

2-23

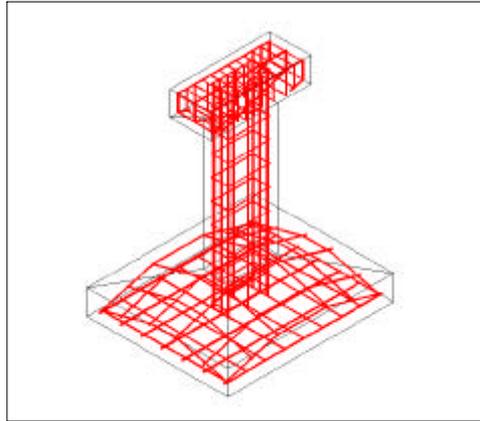
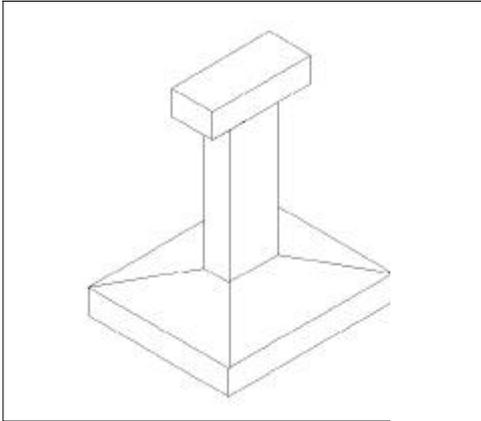


2-22 T 3

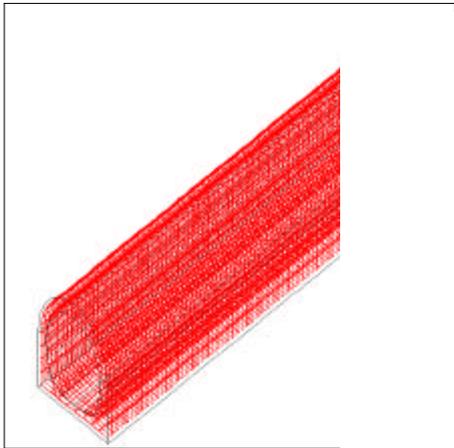


2-23 T

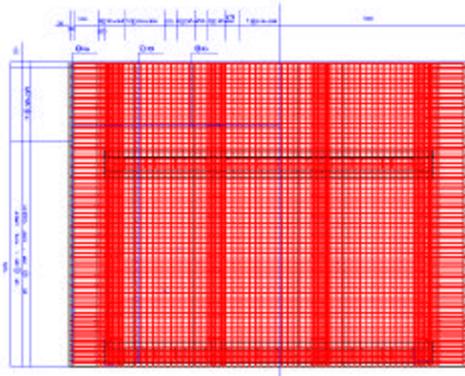
3) , , , 3  
 2-24, 2-25, 2-26 .



2-24 3



2-25 3



2-26

8

가  
, ( , I ), , , 3

1.

15

( )

2.

6

3.

DOI

4.

5.

3

6.





2.

( 824 ('95, 6, 23))

1)

2)

1

2

:

1

:

:

가

1 2 3

1

:

2

4

500ha

20m

(1 )

2,000

500ha

1,000

2

:

(1 )

1,000

500ha

200ha

3

:

가

3)

- : 가  
- : 가 1 ,  
, , , 가

- : 1 ,  
- . , ,  
- 1 .

- 가 가

- 1 , 2 가  
- 1 10 5 1  
- 9  
가

4)

가

가

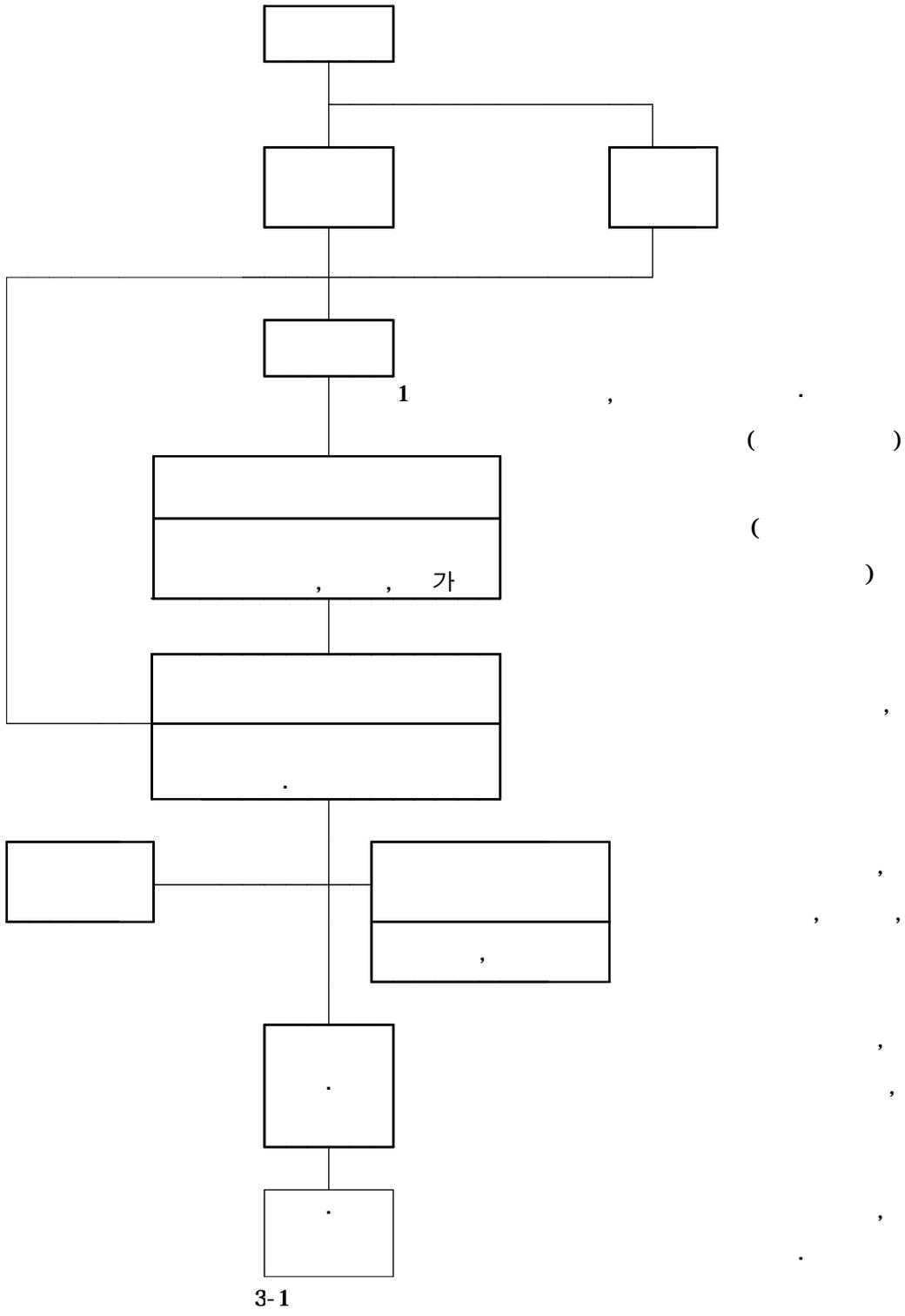
가

3-1

3-1 .

3-1

	6 6	1 . 2	- - -	"	1 3	
	7 9	" 10 1			5	
	15 15	1 . 2	"	"	6	
	18 21					
	18 21	" 1 . 2 " 1 . 2			5	18 2 가
	24 2 46 2 2		- - -		1	
가	( 2200. 04-153, '97. 1. 1) 3 2	50%		6 ( )		1



3.

1) , , 1

1

, , 1·2

2) 3

가

3) , ,

System

4) ,

가

가 .

5)

가 .

1) ,

2) 가

3) , **Data Reduction**

4) .

가 Software  
가 System  
5) 가 Rule Calibrate  
가

4.

3-2

3-2

	( )	( )	(n)	(n)	가 (n)	(n)	( )	( )	( )	
	17, 148	7, 754	67, 272	37, 972	894	1, 985	262	5, 408	4, 415	5, 502

	( )	( )	( )	( )	( )	( )		
	2, 736	836	833	1, 778	207	511	229	

3-2

3-3

3

가

가

가

가

가

가

.

.

가

.

, 가,

.



3-2





2. , DB  
가.

, 1982

3-3

3-3

(ha)	(ha)	( )	(n)		(n)	
690	331	194.10	336	19	4649	10,758

- (GIS )
- ('98 )
- ('98 )

(GIS)

-

-

DB

1)

가)

1:25,000

TM

.

-

->

->

->

->

( ) ->



가. GPS

GIS

, GIS

가

, 가

가

GPS(Global

Positioning System)

, GIS

1) GPS

가) GPS

GPS(Global Positioning System)

가 1970

60

, GPS

L1, C/A

. GPS

C/A

24

가 가

100m

가

. GPS

GPS

GPS

(Triangulation)

C/A

1575.42MHz

L1

C/A

가

(

) x

) DGPS(Differential GPS)

DGPS GPS 2 ,  
 GPS ,  
 (Rover) . DGPS  
 (Differential GPS) GPS  
 GPS ,  
 ,  
 100m GPS 1m ( 30cm-60cm)  
 . UHF, MF Beacon  
 . 100km 1m .  
 DGPS , 10m , GIS  
 1m가 . DGPS  
 (Real time) (Post-processing) 2가 .  
 DGPS ,  
 GPS ,  
 GPS  
 DGPS .  
 100m 2dRMS 가 ,  
 , 가 , .  
 )  
 (1)

, 가  
(2)

3-4

3-4

	1. 2. 3. 4.	1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10.	1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9.	1. 2. 3. 4. 5. 6.	
	1. 2. 3. 4.	1. 2. “ 3. 4. 5.	1. 2. 3. 4. 5. 6.	1. 2. 3. 4. 5.	

) GPS

GPS

가

가

CAD GIS

. GPS

GPS

, GPS

3-6

)

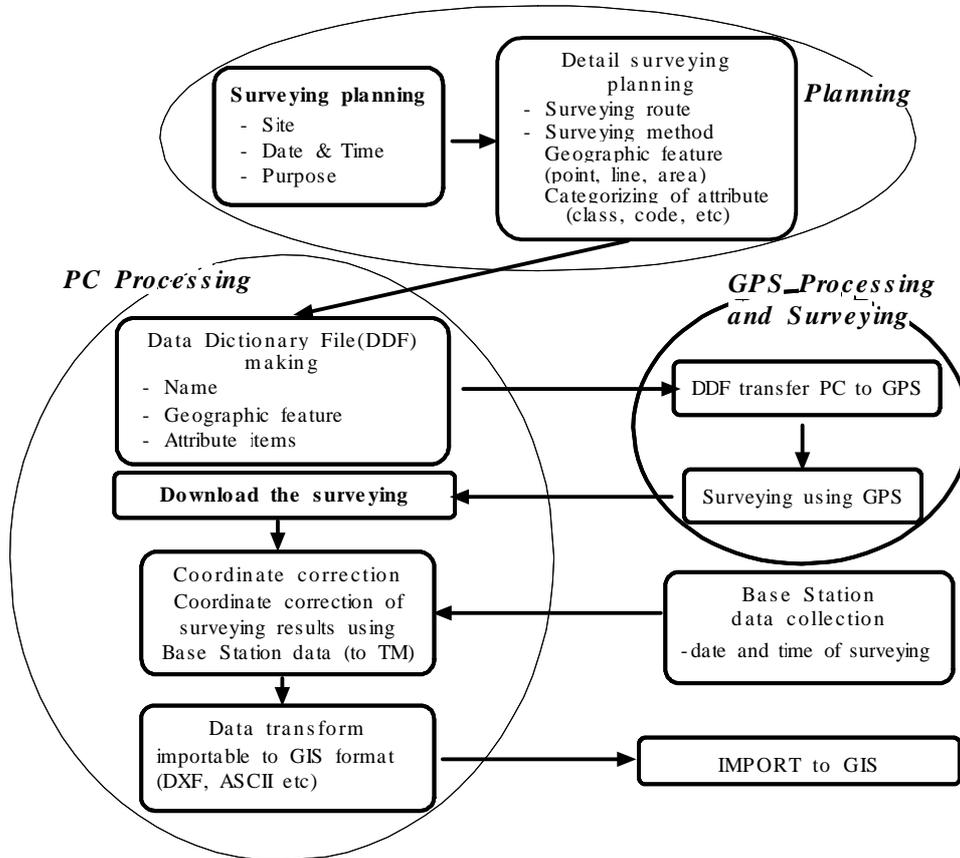
GPS

3-3 . 3-7 GPS

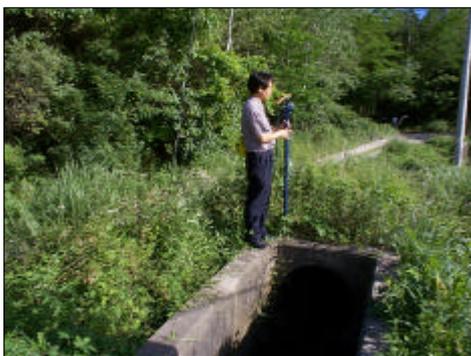
. 3-8

DGPS

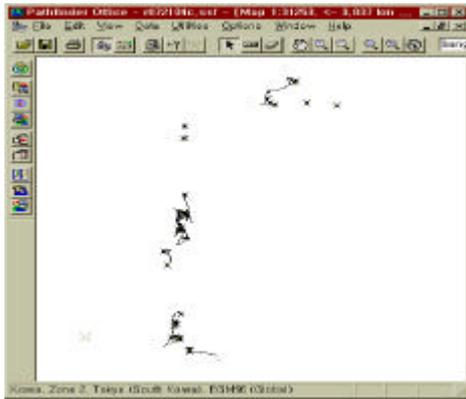
GPS



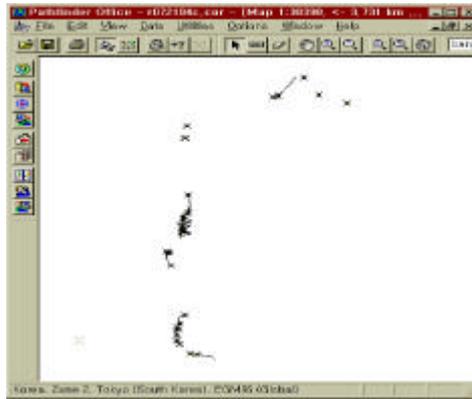
3-6 GPS



3-7 GPS



(a)



(b) DGPS

3-8 GPS

2)

(GIS)

DB

1: 25, 000

TM

GPS 가

GPS

3-9 GPS

Arc/Info GIS

3-10

JaVaIM



(a)



(b)

3-9

Arc/Info GIS



3-10

GPS

ARC/INFO

3.

D/B

D/B

가. D/B

1)

GIS

3-5

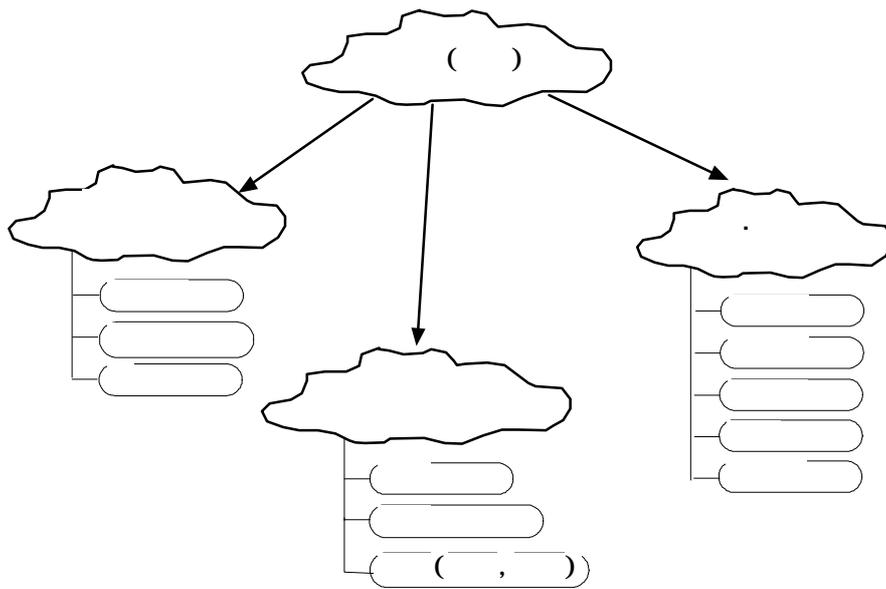
Field name		type	size	
name		character	20	
length		float	10.2	
area		float	10.2	
r_disch		float	10.3	
slope		float	10.3	
width		float	10.3	
height		float	10.3	
depth	( )	float	10.5	
s_slope		float	10.3	
q_area		float	10.5	
material		character	20	
nann	Manning n	float	10.6	
velocity		float	10.5	
dischage		float	10.5	
s_type		character	20	
remarks		character	30	
s_code		character	10	

가

1

. GUI

3-11



3-11

2)

가)

)

)

)

1) Concept model

.

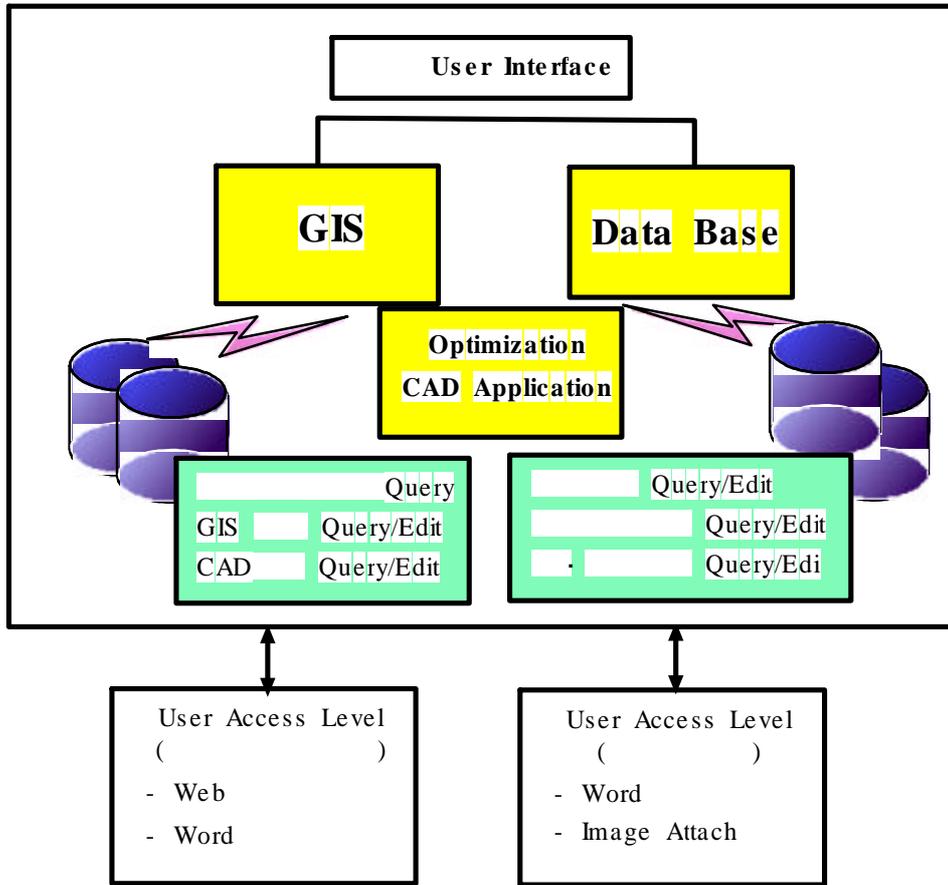
1

sample

GIS

, , GIS

3-12



3-12

Concept model

2)

/ 가 가

(1) H/W Pentium PC Note Book

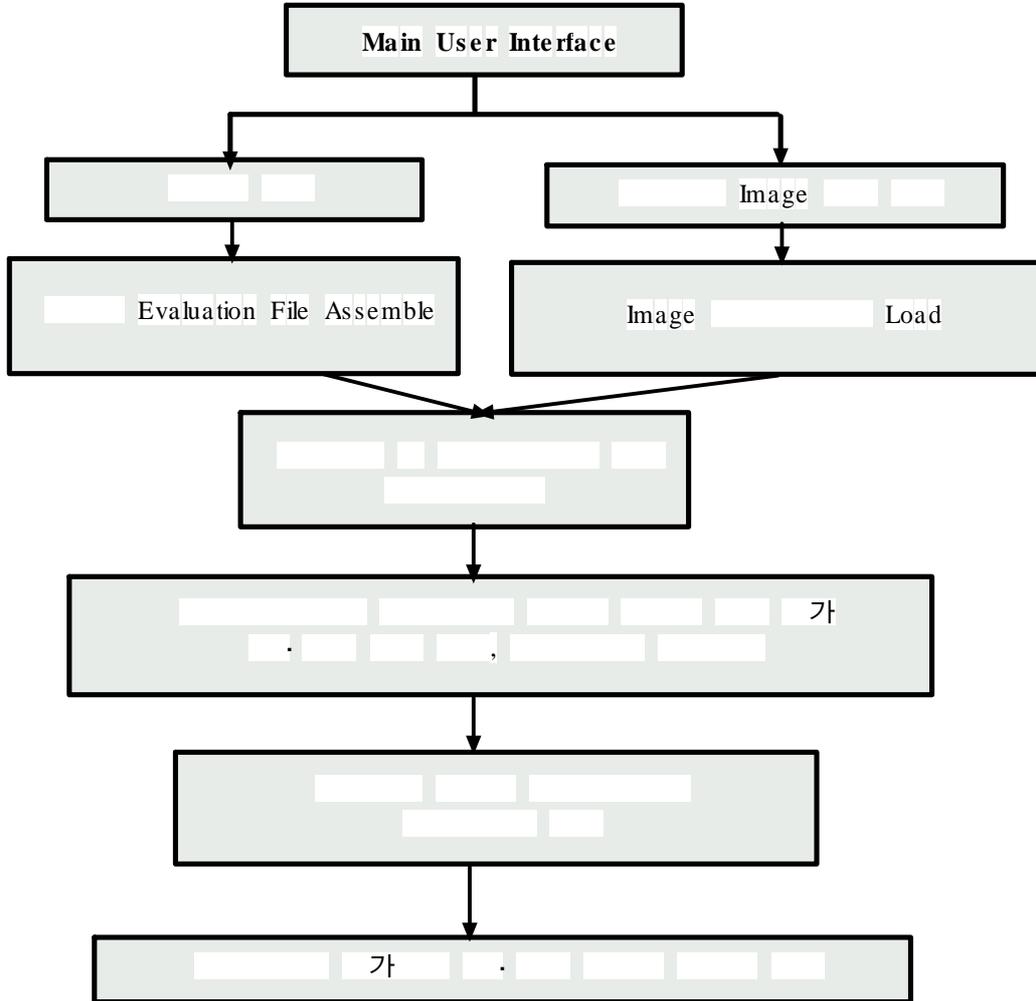
(2) S/W Window

(3) Visual-Basic, Java, C, Embeded SQL

3)

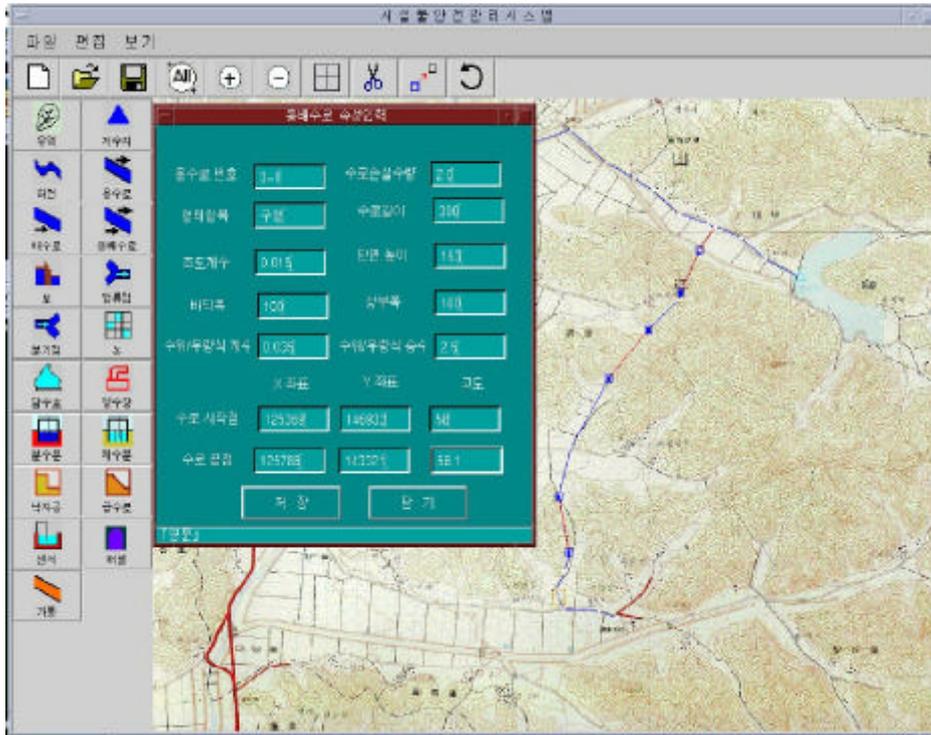
가 .

3-13 .



3-13

4)



3-14

3

가

3

가

Software

가

System

D/B

DB

.



4

· ,

1

가

1.

가

.

가

.

.

.

가

가

가

가 가

.

.

.

,

.

가

.

,

,

.

.

2.

가.

가

1)

가

2)

가)

90

가

7 2

가

가

가

가

)

가

가

.

가

가

가

가가

3)

가)

가

)

가

4)

가

가 .  
가가 .  
가 .

가 .  
가 , 가  
가 가  
가 가  
( , , )가

1 1 2 .  
1 , , ,  
가 . 2  
1 .  
4-1  
가 ,  
1 2 .



4-1 1 2 ( 2 1 , 1)

	1	2
1.	· ( 50 , , ) , · 500 · 1 · 3	· 100 · 1 · 1
2.	· , · , 가 · · 500 · 1	· 1 · 100 · 1 · 1
3.	· (5 )	· 1 · 1
4.	· , · 2	· 1 · 1
5.	· 21 · 21 · 5 m <sup>2</sup>	· 16 20 · 1 · 16 · 3 m <sup>2</sup>
6.	· ·	· ( ) · 1
7.	· · ( 40 m <sup>2</sup> )	· 20 m <sup>2</sup> · 1
8.	· 2 3 · 1	· 2 3 · 2

:

2)

가)                    6                    7  
(1)                    :                    1  
(2)                    :                    2                    1  
                          :                    1  
                          :                    3                    1  
                          :                    90  
.                    :                    가

)

(1)                    가

(2)                                       10                    1

(3)                                       5                    1

(3)                                       6

.  
1)

가 . 가 , , .

가)  
)

, ( ), , . ( )  
, . 가,

)

, ( ), , ( ,  
, ), , . 가,  
.

4-2

2)

가

가

가 .

- : , ,
- :
- : , , ,
- :
- : , , , ,
- : , ,
- : ,

- :
- 가 :

4-2

	( 12 )	( 9 )
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		

3)

가 .

. . 가

.  
.

가)

- , , ,
- , , , , ,
- , , ,
- 
- , , , , ,
- , , , ,
- , , ,
- ,

)

.

(1)

- ( ) : 가
- :
- : 가
- , , ( )

가

- :
- ( ) :

- ( ) :
  - :
  - (X ) :
- ( , )

- :
- :
- ,
- : , , PS ,
- : , ,
- :
- :
- ( , , , IV) :
- ( , ) :
- :
- :
- :
- ( ) :
- , . :
- :
- :
- : .
- , , , :
- :

가

(2)

● :  
 . . .  
 . . .  
 . . .  
 . . .  
 pH .

● :

(3)

●  
 ● :  
 )

(1)

● :  
 ● :

(2)

(가)

: ,  
 :  
 : . . .  
 . . .  
 : ,  
 :

( )

, :

( ) :  
:  
: ,  
:  
: , ,

( ) : GPR

(3)

(가)

( ) :  
( ) :  
( ) :  
( ) :

(4) 가

(가) : , ,  
( ) : , , , GPR  
( ) : . , 가  
( ) : , , ,  
( ) : , ,  
( )  
)

가 . 가

4)  
가)

가

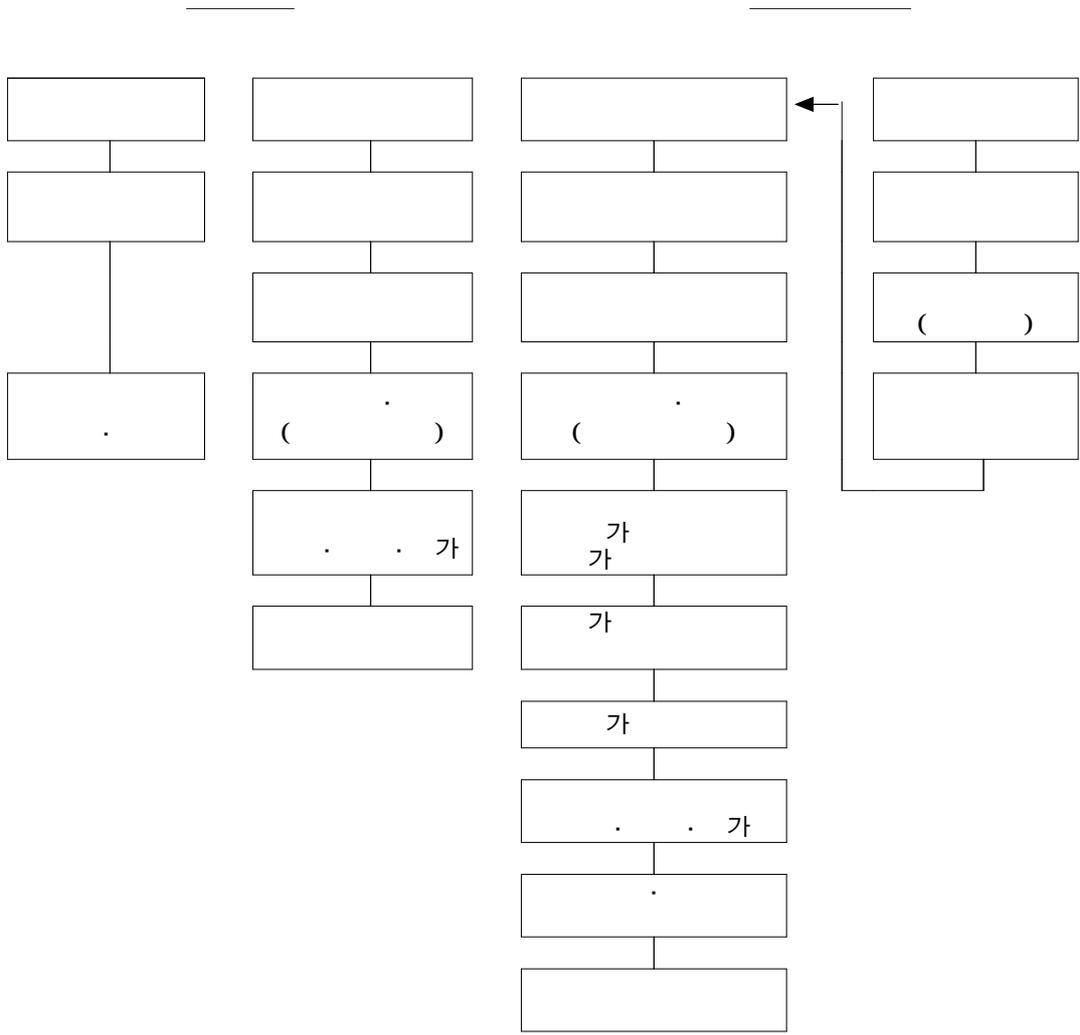
가 .

)



,  
 .  
 , ,  
 , ,  
 가  
 .  
 : , ,  
 : , , , , , ,  
 , , \* \*  
 : ,  
 , PS , , , ,  
 : , ,  
 , : , ,

4-1 .



4-1

2

,

Reduction

1.

, ,

가 .  
가 .  
가 .

가 가 .  
가 가 .  
가 가 .

가 ,  
가 ,  
가 ,

2.

가 가 .  
가 .

ASTM C 42 JIS A 1107-74 ( 가

가

3 , 2 ,

2 가

가

(capping)

가

가 0.1mm

6 10%

, 0.25mm

35%

가 6mm

가

가 40%

KS F 2404(

)

가

2

4-3

2

4-3

(h/d)		
2.00	1.00	h/d가
1.75	0.98	
1.5	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.89	

3.

가.

,  
 ,  
 . 가  
 , 가  
 . ,  
 ,  
 ,  
 ( , , )  
 ( )  
 , ( )  
 ,  
 ( , , )  
 , ( )

( , , )

가 ,

[ ] ,

, Acoustic Emission ,

가 ,

표 4-4 비파괴 검사 방법의 분류 및 특징

측정의 목적	비파괴 시험법의 종류			측정 방법	장점	단점	적용상의 유의점	
콘크리트의 압축강도	타격법	표면경도법	낙하식 해머법 스프링식 해머법 회전식 해머법 피스톤식 해머법	좌측의 각종 기기를 사용하여 콘크리트의 표면을 타격하고, 그들어긴 깊이, 직경, 뿔거 등을 측정	○측정이 비교적 용이 ○피측정물의 형상, 치수와 관계없이 적용가능하다.	○측정부위는 콘크리트의 표층에 제한된다. ○동이개소에 반복 적용 불가능	○최근에는 많이 사용되지 않는다.	
			반갈경도법	슈미트 해머 등	좌측의 기기로 콘크리트의 표면을 타격하고 그 반발경도로 측정	○측정이 간편 ○피측정물의 형상, 치수와 관계없이 적용가능하다.	○측정부위는 콘크리트의 표층에 제한된다. ○동이개소에 반복 적용 불가능	○시험방법은 일본건축학회 「콘크리트강도 추정오르 위한 비파괴 시험방법 매뉴얼」에 기재
	국부 파괴법	관입 저항법	슈미트 해머법 Speed pin 법 Windsor Probe법 등	관입 깊이를 측정	○측정이 비교적 용이	○화약을 사용하지 않음 ○시험후의 보수기 필요	○화약의 사용이 엄밀히 제한되고 있는 국가에서는 실시 곤란 ○시험방법은 ASTM C 803에 규정되어 있다.	
			인발법	미리 콘크리트에 매립한 볼트등의 인발법 (인장력)		○콘크리트에 준비를 필요로 한다. ○시험후의 보수기 필요	○시험방법은 ASTM C 803에 규정되어 있다.	
			국부 압축법	φ15mm 정도의 강편으로 국부 압축내력(혹은)을 측정		○실시가 약간 곤란 ○시험후의 보수기 필요	○적용 예는 적다	
	조합법	음속, 슈미트 해머법		초음파 속도와 슈미트 해머 반발경도 측정	○측정이 간편 ○피측정물의 형상, 치수와 관계없이 적용 가능하다.	○강도 판정식이 확립되어 있지 않다.	○시험방법은 일본 건축학회에서 발간된 「콘크리트에서 강도추정을 위한 비파괴 시험 방법 매뉴얼」에 기재	
			진동법	음속법 초음파법	Pundit 법 Sonic Pure 법 Ultra Sonic Pure 법	초음파 Pulse(종파 횡파)의 전파속도 및 파형을 측정	○피측정물의 형상, 치수에 대한 제약 적음.	○사용 주파수가 높을수록 지향성은 양호하지만, 초음파의 감쇠가 크게 된다.
	콘크리트의 동적 특성 (동탄성계수 등) 동결 용해 저항성	진동법	음속법 초음파법	Pundit 법 Sonic Pure 법 Ultra Sonic Pure 법	초음파 Pulse(종파 횡파)의 전파속도 및 파형을 측정	○피측정물의 형상, 치수에 대한 제약 적음.	○사용 주파수가 높을수록 지향성은 양호하지만, 초음파의 감쇠가 크게 된다.	○시험방법은 일본 건축학회에서 발간된 「콘크리트에서 강도추정을 위한 비파괴 시험 방법 매뉴얼」에 기재

표4-4 Continued

측정의 목적	비파괴 시험법의 종류		측정 방법	장점	단점	적용상의 유의점	
		충격 방법	충격탄성파법 충격파(종파, 횡파)의 전파 속도 및 파형의 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○피측정물의 형상, 치수에 대한 제약 적음.</li> <li>○동일개소에 반복적용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○사용 주파수가 높을수록 지향성은 양호하지만, 초음파의 감쇠가 크게 된다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○초음파법에서는 측정 불가능한 두꺼운 콘크리트 측정도 가능하다.</li> <li>○원리는 초음파법과 동일하다.</li> </ul>	
		공진법	중공진법 현공진법 비틀림 공진법	<ul style="list-style-type: none"> <li>특정형태, 치수의 콘크리트 시험체의 공진 주파수대수 감쇠율등의 측정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○측정이 간편</li> <li>○동일 시험체에 반복 적용 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○피측정물의 형상, 치수에 제약이 있고, 실구조물에 적용은 곤란하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○시험방법은 JIS A 1127(공명진동에 관한 콘크리트의 동탄성 계수, 동전단 탄성 계수 및 포아송비 시험방법)에 규정되어 있다.</li> </ul>
콘크리트의 두께, 내부 결함	음속 방법	초음속 방법	Pundit법 Sonic Pure법 Ultra Sonic Pure법	<ul style="list-style-type: none"> <li>초음파 Pulse (종파, 횡파)의 전파속도 및 파형의 측정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○피측정물의 형상, 치수에 대한 제약 적음</li> <li>○동일단면에 반복적용가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○사용 주파수가 높을수록 지향성은 양호하지만, 초음파의 감쇠가 크게 된다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○기종에 따라서 측정원리, 치수가 다르다.</li> <li>○기종에 따라서는 충격탄성파법에 사용할 수 있는 것도 있다.</li> </ul>
		충격파 방법	충격탄성파법	<ul style="list-style-type: none"> <li>초음파 Pulse (종파, 횡파)의 전파속도 및 파형의 측정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○피측정물의 형상, 치수에 대한 제약 적음</li> <li>○동일단면에 반복적용가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○전파파형의 물성이 변하므로 측정치의 평가가 곤란하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○초음파법에서는 탐사 불가능한 두꺼운 콘크리트의 탐사도 가능하다.</li> <li>○원리는 초음파법과 동일하지만, 발진자의 발바 등에 충격파를 발생시킨다.</li> </ul>
	방사선 방법	X선 투과 시험법 γ선 투과 시험법	방사선 투과사진 촬영	<ul style="list-style-type: none"> <li>○콘크리트 내부의 형태를 직접 관찰할 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○방사선에 의한 위험이 수반된다.</li> <li>○장치가 대형</li> <li>○촬영에는 면허 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○검사 대상물의 양측에 장치 및 골조를 배치하기 위해 공간이 필요하다.</li> <li>○X선의 적용한계는 약 40cm [선의 적용한계는 약 60cm이지만, 작업효과, 선명도, 안전성은 X선쪽이 우수하다.</li> </ul>	
전자파 방법	레이더파법	전자 Pulse의 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○측정은 비교적 용이</li> <li>○조사개소 단면의 상태를 화상으로 볼 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○사용주파수가 낮으면 장치가 대형화된다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○검출대상으로 한 결함의 심도범위에 따라서 기종 선택해야 한다.</li> <li>○조사개소 단면의 화상(실체상)은 아님을 기록으로 남길 수 있다.</li> </ul>		

표 4-4 Continued

측정의 목적	비파괴 시험법의 종류		측정방법	장 점	단 점	적용상의 유의점
콘크리트의 품질, 재하이력	기타	Acoustic Emission 법 (AE법)	재하에 따른 콘크리트의 균열 발생을 계속	<ul style="list-style-type: none"> <li>○카이저 효과를 이용하여 콘크리트에 대한 과거 재하이력을 추정할 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○측정이 곤란</li> <li>○측정장치가 고가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○계측시점에서 발생 또는 상정하는 결함의 상황을 파악하는 방법이다.</li> <li>○기타 방법과 달리 이미 존재하고 있는 성장이 멈춰진 결함은 검출할수 없다.</li> <li>○해석에는 고도의 전문적인 지식이 필요하다.</li> </ul>
콘크리트 구조물의 기초깊이	음속법	충격탄성파법	충격파(횡파)의 전파속도 및 반사파형의 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○피측정물의 형상, 치수에 그다지 제약이 없다.</li> <li>○동일개소에 반복하여 적용할 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○삽입된 부분의 구조가 복잡하게 되면 반사파형의 해석이 곤란하게 된다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○탐사심도는 약 20m정도 까지 이다.</li> </ul>
콘크리트 내의 철근위치	자기법	파토 meter 법 Cover meter 법 R meter 법 외류탐사법	철근의 존재에 따른 자기의 변화 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○측정은 비교적 용이</li> <li>○동일개소에 반복 적용가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○배근 형태가 조밀한 경우 탐사가 곤란</li> <li>○깊은(10m정도 이상) 위치에 있는 철근의 탐사는 곤란</li> <li>○철근과 매설배관을 구별하는 것은 곤란</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○외류탐사 이외의 방법으로 피복두께 혹은 철근 직경</li> <li>○르 정밀하게 측정하기 위해서는 어느 한쪽을 미리 알아야 할 필요가 있다.</li> <li>○외류탐사법은 다른 방법과는 달리 피복두께와 철근 지름이 동시에 구해진다.</li> <li>○근방에 철근 이외의 금속물이 있으면 탐사 불가능</li> </ul>
	방사선법	X선 투과 시험법 γ선 투과 시험법	방사선 투과사진 촬영	<ul style="list-style-type: none"> <li>○철근의 형태를 직접 관찰할 수 있다.</li> </ul>		
	전자파법	레이다파법	전자파 Pulse의 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○측정은 비교적 용이</li> <li>○조사개소 단면의 양자를 화상으로 볼수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○배근 형태가 조밀한 경우, 탐사가 곤란</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○철근의 탐사를 목적으로 한 경우에 사용되는 기기의 탐사 가능 길이는 20~30cm 이하이다.</li> <li>○조사개소 단면의 하상(실체상은 아님)을 기록으로 남길 수 있다.</li> </ul>

표 4-4 Continued

측정의 목적	비파괴 시험법의 종류		측정방법	장 점	단 점	적용상의 유의점
콘크리트 내의 철근의 부식상태	전기법	자연전위법	자연전위의 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○측정은 비교적 용이</li> <li>○동일개소에 반복하여 적용할 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○전극의 일단을 하부로 철근을 노출해야 한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○시험방법은 ASTM C 876에 규정되어 있다.</li> <li>○자연전위의 분포상태로 철근이 부식되어 있는 가능성이 있는 영역을 지정한다.</li> </ul>
	자기법	와류탐사법	여자전류와 철근에 발생하는 2차 전류의 위상차 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○측정이 비교적 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○배근상태가 조밀한 경우, 탐사가 곤란</li> <li>○깊은(10cm정도 이상) 위치에 있는 검사는 곤란</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○얻어진 결과는 측정시점에서의 철근 직경의 실측치이다.</li> </ul>
	방사선법	X선 투과 시험법	방사선 투과사진 촬영	<ul style="list-style-type: none"> <li>○철근의 부식상태를 직접 관찰할 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○방사선에 의한 위험이 수반된다.</li> <li>○장치가 대형</li> <li>○촬영에는 면허가 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○투과사진으로 측정된 철근경은 실제보다 큰 값이 되고 실제의 직경을 구하는데 기하해석이 필요하다. 철근의 표면 결손과정의 부식 상태가 아니면 곤란함.</li> <li>○그의 진술의 두께, 내부 결함의 내용과 동일</li> </ul>
콘크리트의 함수량 (울)	전기법	전기저항법 투전율법	전기저항, 투전율의 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○측정이 비교적 용이</li> <li>○동일개소에 반복하여 적용할 수 있다.</li> </ul>		
	중성자법	중성자 함수량 측정법 중성자 활성화 분석법	중성자의 감쇠상황을 측정		<ul style="list-style-type: none"> <li>○방사선에 의한 위험이 수반된다.</li> <li>○장치가 대형</li> </ul>	
	기타	마이크로 흡수법	파장 0.3~330mm의 마이크로파의 물에 의한 감쇠율의 측정	<ul style="list-style-type: none"> <li>○측정이 비교적 용이</li> </ul>		
		핵자기 공명법(NMR)	자기를 사용하고 수소원자 핵의 거동을 관측하여 습기를 측정한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>○측정이 비교적 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○장치가 대형</li> </ul>	

#### 4. 콘크리트 강도에 관한 비파괴검사 방법

구조체 콘크리트 강도를 구하는 하나의 방법으로서 구조물로부터 많은 코어를 채취하여 코어시험을 실시하는 방법이 있다. 그러나, 보통 콘크리트 구조물은 치수도 크고, 재료나 배합뿐만 아니라 타설로부터 양생까지의 시공조건이 모두 다르기 때문에 샘플의 선정이 어렵다. 또한, 코어채취 작업을 할 때는 큰 변형이나 경비관계도 있으며, 구조물을 부분적으로 손상시킨다. 따라서, 가능한 한 작업량을 적게 하고, 소정의 정도에서 검사할 수 있는 비파괴검사를 개발하는 것이 필요하게 되었다.

표 4-4로부터 알 수 있는 것과 같이, 콘크리트 강도에 관한 비파괴검사방법은 타격법(슈미트 해머법, 기타), 진동법(초음파법), Maturity법으로 대표되는 준비파괴 검사 방법뿐만 아니라 구미 각국에서 제안된 인발법이나 Break off법과 같이 구조물에 부분적인 파괴를 일으키는 비파괴검사도 이용되고 있다. 이와 같은 방법은 부분적으로 콘크리트 구조물의 표층부를 파괴시킨다는 의미에서 비파괴검사라고 할 수 없지만, 구조물 전체에 대해서는 영향이 적으므로, 넓은 의미로는 비파괴검사의 하나로 간주되고 있다. 다음에 각 검사방법을 개략적으로 설명한다.

##### 나. 타격법

타격법은 콘크리트의 표면을 해머로 타격하여 표면에 생긴 요철부의 크기나 반발 정도를 구하는 것으로서 특히, 반발 정도를 구하는 슈미트 해머법(Schmidt Hammer Test)이 유명하다. 슈미트 해머법은 강도에 따라서 콘크리트의 반발 정도가 변화하는 것을 이용하는 방법으로서 현재 세계 각국에서 가장 많이 사용하고 있는 비파괴 시험방법 중의 하나이며 많은 나라에서 표준화하여 사용되고 있다. 또한, 측정기기의 값이 저렴하고 시험 방법도 간단하기 때문에 건설현장에서 공사검사의 수단으로서 이용하는 경우가 많지만, 이 방법은 타격조건, 콘크리트 표층부의 품질 등 여러 가지 요인에 따라서 영향을 받기 때문에 내부 콘크리트의 강도를 정확하게 구하는 것은 어렵다.

##### 1) 시험방법

슈미트 해머법을 이용하여 콘크리트의 표면을 타격하여 반발 정도로부터 콘크리트의 강도를 추정하며, 슈미트 해머의 종류를 표4-5에 나타내었다. 측정할 때는 콘크리트의 종류, 품질에 따라서 기종을 적절하게 선정하여 사용해야 한다.

표 4-5 슈미트 해머의 종류

종류	적용 콘크리트	충격에너지 (kg/cm)	강도 측정범위(kg/cm <sup>2</sup> )	비고
N형	보통콘크리트	0.225	150~600	직접 반발경도 없음
NR형	보통콘크리트	0.225	150~600	반발경도 자동기록식
L형	경량콘크리트	0.075	100~600	직접 반발경도 없음
LR형	경량콘크리트	0.075	100~600	반발경도 자동기록식
P형	저강도콘크리트	0.09	50~150	진자식
M형	매스콘크리트	3.00	600~1000	직접 반발경도 없음

2) 강도 추정식

보통 콘크리트의 압축강도( $F_c$ )와 반발경도( $R_o$ )의 관계에 대해서 여러 가지 관계식이 제안되었는데 보통콘크리트에 대한 대표적인 강도추정식은 다음과 같다. 다만, 타격방향, 콘크리트의 재령 등 측정시의 제조건에 따라서 (3)항에 나타난 요령에 따라서 반발경도 및 추정강도를 보정한다.

① 일본재료학회식

$$F_c = 13 R_o - 184 \quad (4-1)$$

② 동경도건축재료검사소식

$$F_c = 10 R_o - 110 \quad (4-2)$$

③ 건축학회매뉴얼

$$F_c = 7.3 R_o + 110 \quad (4-3)$$

여기서,  $F_c$  : 압축강도,  $R_o = R + \Delta R$

$R_o$  : 기준경도

$R$  : 측정경도

$\Delta R$  : 타격방향 등에 의한 보정값

상기 식(4-3)은 재령이 1년 이내의 비교적 재령일수가 적은 콘크리트에 적용하

는 식이다.

### 3) 반발경도 및 추정강도의 보정방법

- ① 타격방향에 따른 보정 : 수평방향이외의 방향으로 타격한 경우에는 그림4-2에 따라서 보정값  $\Delta R$ 을 구한다.

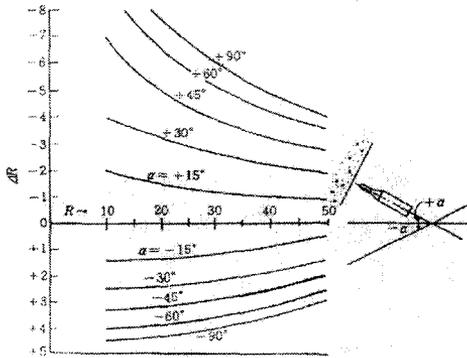


그림 4-2 타격각도에 따른 반발경도 보정값

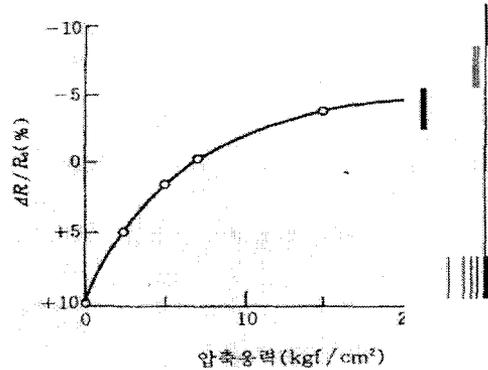


그림 4-3 압축응력에 따른 반발경도 보정값

- ② 압축응력에 따른 보정 : 타격방향과 직각방향으로 압축응력을 받는 경우에는 그림 4-3 따라서 반발경도를 보정한다.
- ③ 콘크리트의 건조수축 상태에 따른 보정 : 콘크리트가 기건상태로 있는 것을 기준으로 하여 습윤상태인 경우에는  $\Delta R = +5$  로 한다.
- ④ 재령에 따른 보정 : 시험시 콘크리트의 재령에 따라 식(4-1) 등에 의해 구한 콘크리트강도에 표 4-6에 나타난 보정계수 ( $\alpha$ )를 곱하여 추정강도를 보정한다.

표 4-6 재령에 따른 추정강도의 보정값( $\alpha$ )

재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1,000	3,000
$\alpha$	1.55	1.15	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

#### 다. 초음파법

표 4-4에 나타난 것과 같이, 진동법으로는 초음파법과 공진법이 있지만, 공진법은 소형시험체만 적용할 수 있으며, 동탄성계수나 동포아송비를 구하는 것으로서 강도는 얻을 수 없다. 초음파법은 초음파(콘크리트의 경우 보통 주파수가 50~

100kHz 정도의 초음파 이용)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 이 투과 속도로부터 콘크리트의 동적 특성, 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다. 그러나 강도 추정의 정확도는 높지 않으며, 외국의 많은 나라에서는 콘크리트의 강도 판정이나 품질비교 또는 균열깊이를 판정하는 수단으로서 이 방법을 사용하고 있다. 강도 추정에 적용할 경우에는 이 방법을 단독적으로 사용하지 않고 다음의 (3)에 서술하고 있는 복합법으로 이용하는 것이 바람직하다.

이 방법에 의한 강도추정 정확도는 높지 않기 때문에 콘크리트의 사용재료, 배합, 재령, 함수율 등의 정보가 부족한 경우에는 어디까지나 참고자료로 사용한다.

음속에 미치는 각종 요인의 영향은 다음과 같다.

- ① 콘크리트의 배합비
- ② 내부철근 : 강재를 통과하는 음속(약 5km/sec)은 콘크리트를 통과하는 음속보다 크기때문에 내부에 철근 등이 존재할 경우에는 기존의 연구결과에 따라 측정된 음속값을 보정한다.
- ③ 콘크리트의 함수율 : 일반적으로 콘크리트의 함수율이 1% 증가하면, 음속은 약 50~100m/sec 증대된다.

라. 타격법과 초음파법의 복합법

복합법은 콘크리트강도와 일정한 상관 관계를 갖는 2가지 이상의 비파괴 시험값을 병용해서 강도추정의 정확도를 높이기 위한 것이다. 여기서, 각종 비파괴시험값을 조합시키는 방법은 다음과 같다.

- ① 반발경도 + 초음파
- ② 반발경도 + 인발내력
- ③ 초음파 + Maturity
- ④ 반발경도 + 초음파 + 인발내력

등이 제안되고 있지만, 이 중에서 반발경도와 초음파의 복합법이 가장 실용적이며, 루마니아, RILEM 등에서는 규준으로 제정되어 있다.

루마니아에서는 보통 포틀랜드 시멘트와 석영암질 굵은 골재(최대치수 30mm)를 사용하여 단위 시멘트량이  $300\text{kg/m}^3$ , 0~1mm의 미립분의 전 골재중에 점유비율이 12%인 콘크리트를 표준 콘크리트로 하여 이 콘크리트의 강도 추정에 그림 1-11을

이용하고 있다. 표준 콘크리트와 배합비 등이 다른 콘크리트에 대해서는 보정계수가 별도로 이용되고 있다.

일본건축학회 콘크리트 비파괴시험법연구 소위원회에서는 위원회에서 실시한 공동 실험결과를 정리해서 다음과 같은 식을 제안하였다.

① 보통 콘크리트

$$F_c = 8.2R_o + 269V_1 - 1,094 \quad (4-4)$$

② 경량 콘크리트

$$F_c = 4.1R_o + 334V_1 - 1,022 \quad (4-5)$$

곡천 등은 상기식 중 보통 콘크리트에 대한 공동실험결과를 다음과 같이 수정제안하였다.

$$F_c = 10.2(kR_o) + 223V_1 - 960 \quad (4-6)$$

여기서,  $k$ =재령에 의한 보정계수

재령 13주 이내,  $k=1.0$

재령 13~26주,  $k=1.0 \sim 0.9$ 사이 직선보간

재령 26주 이상,  $k=0.9$

표 4-7 콘크리트를 대상으로 한 비파괴시험 방법의 평가

용도		측정방법	실적	간편성	검사능률	제도	비용	장래성
강도변형특성		슈미트해머	A	A	B	B	A	B
		초음파법	B	B	C	B	B	B
		인발법	B	B	C	B	B	B
		조합, 기타	B	B	C	B	B	B
내	치수·두께	방사선투과법	B	B	C	B	C	B
		초음파법	C	C	C	C	B	B
부	철근위치	전자유도법	A	A	B	B	A	A
		방사선투과법	A	B	C	B	C	B
		레이더법	B	B	B	B	B	A
부	균열	AE법(변화)	B	C	C	B	C	B
		적외선법(분포)	B	C	A	B	B	B
		초음파법(깊이)	A	B	B	B	B	B
검	결합공극등	초음파법	B	B	B	B	B	B
		타음·진동법	B	C	B	B	C	B
		방사선투과법	A	B	C	B	C	B
		적외선법	B	C	A	B	B	B
		레이더법	B	B	B	B	B	B
토	강재부식	자연전위법	B	C	C	C	B	B
		방사선투과법	B	B	C	B	C	B
		전자유도법	B	A	B	B	A	A
		와류탐사법						

(평가)

항목 등급	실적	간편성	검사능률	정도	비용	장래성	종합평가
A	유	양호	양호	양호	적정	유	양호
B	일부유	보통	보통	보통	보통	일부유	보통
C	무	나쁨	나쁨	나쁨	높음	무	나쁨

이상 다양한 파괴 비파괴 조사방법에 대하여 설명하였다. 이러한 조사 방법은 대

상구조물의 종류나 진단 등급에 따라서 선택적으로 사용되어야 할 사항이다. 본 연구의 대상으로 삼고 있는 대부분의 농업 구조물에 대한 진단에서는 기본적으로 코아 채취에 의한 강도 산정 과 중성화 깊이 측정, 균열 깊이의 측정 법 외에 슈미트 햄머를 이용한 다양한 지점의 강도추정결과를 이용하고 다음절에서 설명하는 진단 방식으로 등급판정을 내린 다음 종합적인 대책을 수립하면 된다.

### 제3절 농업구조물 안전진단 및 보수·보강 시스템 개발

#### 1. 구조물의 점검방법

본 연구에서 제시하고자 하는 농업구조물의 안전진단 방법은 일반구조물의 안전진단방법을 간략화 하면서 핵심을 유지하는 방향으로 재구성하는 것이다. 이 경우 일반구조물에서 가장 중요하면서 부재요소가 많고 따라서 다른 모든 구조물의 열화, 파손의 종류를 포함하는 교량의 경우를 기준으로 하면 교량의 부재 일부와, 열화, 파손의 일부를 다른 농업시설물에 준용할 수 있기 때문에 교량의 점검 및 평가방법을 자세히 설명하고자 한다. 또한 터널의 경우 용수용 터널일 지라도 규모가 크고 하자요인이 많기 때문에 점검시 유의사항에 포함시키기로 한다.

교량의 각 부위별 점검 사항은 다음과 같다.

#### 가. 구조물(교량)의 점검방법

##### 1) 상부구조

이 항은 받침부, 연결기구와 보호용 도장을 포함한 철근 콘크리트를 사용한 모든 상부 구조 형식에 관한 점검을 포함한다. 통행로 상부에 위치한 거더는 교량 하부로 과대 높이의 트럭에 의한 충돌 손상에 대하여 점검 하여야 하며, 트럭하중이 상부구조를 통과할 때에 과도한 진동 또는 처짐이 생기는지 면밀히 관찰한다.

#### ◎ 철근 콘크리트 보 및 지점부의 점검사항

점검부위	점검사항
주 부재	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 박락, 철근 노출</li> <li>▪ 골재분리</li> <li>▪ 철근의 부식</li> <li>▪ 누수, 체수</li> <li>▪ 백화현상, 변색, 열화</li> <li>▪ 휨 균열, 사인장 균열</li> </ul>
지점부	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 하부구조에 대한 수직, 수평, 종방향의 상대이동</li> </ul>

◎ 프리스트레스트 콘크리트 보 및 지점부

점검부위	점검사항
거더 및 슬래브	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 박락, 철근노출</li> <li>▪ 골재분리</li> <li>▪ 철근의 부식</li> <li>▪ 누수, 체수</li> <li>▪ 프리스트레싱 강재의 손상</li> <li>▪ 백화현상, 변색, 열화</li> <li>▪ 종균열</li> <li>▪ 횡균열 및 사인장 균열</li> </ul>
받침부	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 균열 및 박락</li> </ul>

2) 하부구조

◎ 교대의 점검사항

점검부위	점검사항	
기초	지반	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 세굴, 융기, 이동</li> </ul>
	호안공	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 침하, 이동, 유실</li> <li>▪ 모르터 이음부의 균열, 치장줄눈의 상태</li> <li>▪ 침식, 공동현상, 균열 재료의 노후화 상태 및 기타</li> </ul>
	본체	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 침식</li> <li>▪ 침하, 이동, 경사</li> </ul>
교대상부	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 균열, 박락, 철근노출</li> <li>▪ 백화현상, 변색, 열화</li> <li>▪ 골재분리</li> <li>▪ 누수, 체수</li> <li>▪ 철근의 부식</li> <li>▪ 수평 수직이동</li> </ul>	
석축	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 모르터 이음부의 균열, 치장줄눈의 상태</li> <li>▪ 침식, 공동현상(Cavitation), 균열 및 기타 석질의 노후화 상태</li> </ul>	
벽체	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 균열, 박락, 철근노출</li> <li>▪ 백화현상, 층분리, 변색, 열화</li> <li>▪ 골재분리</li> <li>▪ 누수, 체수</li> <li>▪ 철근의 부식</li> <li>▪ 회전, 이동 및 침하의 흔적</li> </ul>	
배수관 및 배수구멍	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 적절한 기능 여부</li> <li>▪ 부근에 흙이 쌓여있는지 여부</li> </ul>	

◎ 옹벽의 점검사항

점검부위	점검사항	
기초	지반	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 세굴, 융기, 이동</li> </ul>
	호안공	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 침하, 이동, 유실</li> <li>▪ 모르터 이음부의 균열, 치장줄눈의 상태</li> <li>▪ 침식, 공동현상, 균열 재료의 노후화 상태 및 기타</li> </ul>
앞굽판	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 침하, 이동, 유실</li> <li>▪ 모르터 이음부의 균열, 치장줄눈의 상태</li> <li>▪ 침식, 공동현상, 균열, 재료의 노후화 상태 및 기타</li> </ul>	
노출 콘크리트	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 균열, 박락, 철근노출</li> <li>▪ 백화현상, 변색, 열화</li> <li>▪ 골재분리</li> <li>▪ 누수, 체수</li> <li>▪ 철근의 부식</li> </ul>	
석축	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 모르터 이음부의 균열, 치장줄눈의 상태</li> <li>▪ 침식, 공동현상(Cavitation), 균열 및 기타 석질의 노후화 상태</li> </ul>	
벽면	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 상부 및 이음부의 변형과 침하</li> <li>▪ 배면 경사부의 균열</li> </ul>	

◎ 교각의 점검사항

점검부위		점검사항
기초	지반	▪ 세굴, 용기, 이동 ▪ 사석의 안정성 및 재질
	본체	▪ 침식 ▪ 침하, 이동, 경사
구체 콘크리트		▪ 수평 및 수직 균열, 박락, 철근노출 ▪ 백화현상, 층분리, 변색, 열화 ▪ 골재분리 ▪ 누수, 체수 ▪ 철근의 부식
석축		▪ 모르터 이음부의 균열, 치장줄눈의 상태 ▪ 침식, 공동현상(Cavitation), 균열 및 기타 석질의 노후화상태
두부		▪ 코핑(Coping)부 상부의 수직 수평균열, 박락, 철근노출 ▪ 백화현상, 변색, 열화 ▪ 골재분리 ▪ 누수, 체수 ▪ 철근의 부식 ▪ 수평 운동, 경사 또는 침하 ▪ 오물 축적

◎ 안정성에 관한사항

점검부위	점검사항
상부구조의 변위	▪ 수직이동 ▪ 횡방향 또는 종방향 변위
로커, 롤러와 행거	▪ 이동 또는 경사
교대, 교각, 벤트 및 힌지	▪ 이음부의 막힘, 벌어진 및 단차
교대, 홍벽과 보의 끝부분	▪ 균열, 박락 및 부적절한 유간거리
날개벽 및 옹벽	▪ 뒤틀림, 비정상적인 균열 및 이음폭 ▪ 경사의 변화 ▪ 사면의 균열

◎ 기초의 상태 판정

기초의 침하를 직접 눈으로 관찰하는 것은 곤란하지만 일반적으로 이러한 변형의 영향이 상부구조, 교대, 교각, 옹벽 또는 성토부 등에 나타나기 때문에 간접적으로 관찰이 가능하지만 세굴 등의 손상은 직접 측정을 함으로써 발전상태를 파악할 수 있다.

기초의 변형을 가장 알기 쉬운것은 구체의 변위이지만 구체에 경사와 같은 변위가 생겼을 경우에는 이미 기초의 변형이 상당히 진행되었을 때이며 대책이 늦어서 곤란한 경우이므로, 기초의 변형에 대한 조사는 정기적으로 실시하여 사전에 대책을 세워야 하며, 변형에 대한 조사 절차는 다음과 같다.

- 기초의 변형에 관계되는 각종 데이터(지질조사나 토질시험의 데이터)
- 기초의 변형에 관계되는 외적조건 조사(압밀침하의 유무, 지반경사의 유무, 근접 시공에 따른 영향의 유무, 세굴 또는 하상저하의 유무 등)

- 기초와 관련되는 구조물의 변형 조사

기초의 침하는 가까운 수준점을 이용하여 구조물 및 지반의 변위를 동시에 측정하는 것이 가장 일반적인 방법이며, 침하 유무 및 진행여부를 조사할 수 있다.

기초의 안정 불안정을 판단하는 것은 지반이 다양하고 조사범위가 불확실한 여러 복합요소 때문에 매우 어려운 일이다.

또한 기초의 변형이나 내하력의 부족에 대한 보수공사는 여러가지의 시공조건, 시공공간, 작업용비계 설치 등의 시공법에 제약을 주기 때문에 공사비와 공사기간이 막대하게 요구되어 공법 선정과 공사 착수 시기 선택에 신중을 결정해야 한다.

3) 바닥판

바닥판은 일반적으로 상부 구조를 지지하는 부재와 함께 활하중에 대하여 복합적으로 거동하도록 설계되기 때문에 점검자는 합성 바닥판이 설계자의 의도대로 거동하는지 관찰하여야 한다.

◎ 콘크리트 바닥판의 점검사항

점검부위	점검사항
바닥판 상면	<ul style="list-style-type: none"> <li>균열, 박리(Scaling), 포트홀(Pot-holing), 박락 등의 노후화 현상</li> <li>박락 또는 층분리(Delamination)의 범위</li> </ul>
바닥판 하면	<ul style="list-style-type: none"> <li>균열, 박락, 철근노출</li> <li>백화현상, 변색, 열화</li> <li>골재분리</li> <li>누수, 체수</li> <li>철근의 부식</li> </ul>
표면 및 포장면	<ul style="list-style-type: none"> <li>균열, 마모</li> <li>포트 홀</li> </ul>

◎ 프리스트레스트 콘크리트 바닥판의 점검사항

점검부위	점검사항
바닥판 판넬	<ul style="list-style-type: none"> <li>균열, 박락, 포트홀, 박락 등의 노후화 현상</li> </ul>
정착부	<ul style="list-style-type: none"> <li>노후화 또는 파손의 징후</li> </ul>
이음부	<ul style="list-style-type: none"> <li>박락 및 이물질</li> </ul>
슬래브의 하부	<ul style="list-style-type: none"> <li>균열, 박락 및 철근노출</li> <li>백화현상, 변색, 열화</li> <li>골재분리</li> <li>누수, 체수</li> <li>철근의 부식</li> </ul>
슬래브앵커 볼트	<ul style="list-style-type: none"> <li>볼트의 두부</li> </ul>
키(Key) 또는 연결장치	<ul style="list-style-type: none"> <li>적절한 기능 여부</li> </ul>

### ◎ 콘크리트 바닥판의 점검시 상태평가 기준

바닥판은 윤하중의 영향을 직접적으로 받는 부재이며, 한번 손상이 생기면 급속히 악화되므로 손상 상태를 정기적으로 조사, 점검하고 상황을 충분히 파악하여 손상이 발견되면 조기에 조치를 취하는 것이 중요하다.

바닥판의 점검은 일반적으로 사진이나 육안으로 점검한다. 그러나 상세한 조사가 필요한 경우에는 공사용 비계나 점검차를 이용하여 균열의 밀도, 폭, 길이 및 철근 노출, 공동, 곰보 등을 조사하며 필요한 경우에는 슈미트 햄머 등을 사용하여 콘크리트의 가도를 측정하도록 한다.

일반적으로 바닥판 휨 모멘트에 대해 설계하고 전단력은 감안하지 않는다. 따라서 균열이 없는 경우에는 충분한 내력이 있지만 균열이 생기면 전단력에 대한 내력의 저하 또는 휨내력의 저하가 진행되고 있는 상태이므로 충분히 주의하여야 한다.

바닥판의 균열폭은 0.1mm를 기준하여 이상 여부를 판정토록 한다.

누수 및 백태현상은 균열과 연관되어 발생하는 현상으로 누수는 상판의 균열이 상하면을 관통하여 물이 스며드는 형상이며, 백태는 누수에 의하여 유리석회화 발생하는 현상을 말한다.

또한 점검시에는 다음 사항에 유의한다.

- 손상정도를 판단하는데 있어서 균열은 상당한 비중을 차지하므로 점검시에는 단순히 균열 모양을 관찰하는 것에 그치지 말고, 여러 상태에 대한 그 원인을 파악하고 그에 따른 적절한 조치방법을 수립할 수 있도록 주의 깊게 조사해야 한다.
- 균열상황에 대해서는 정기적인 조사에 의해 진행상황을 파악하도록 한다. 그러기 위해서는 균열의 시점과 종점을 표시를 해 두는 것이 필요하다.
- 큰 균열일지라도 상당히 오래전에 발생하여 안정된 것이 있는 반면에 미세 균열일지라도 윤하중의 반복재하에 의해 점차 커지는 균열이 있으므로 균열 조사시에는 특별히 큰 균열에만 주목하지 말고 미세한 균열에도 주의 하여야 한다.
- 조사시에는 가능한 상판 밑면에 접하여 점검하여야 한다.

#### 4) 주형부

콘크리트 구조물에서는 결함발생 부위가 한정되는 경우가 많으므로, 현장 점검시에 중요 점검 부위를 결정하여 효율적으로 점검할 필요가 있다.

주요 점검 부위로서는 응력 집중부, 단면 변화부 등이 있으며, 이들 부위의 결함을 방지하는 경우에는 구조적으로 중대한 손상으로 발전할 위험이 있으므로 원인 규명을 통해 적절한 처치를 취할 필요가 있다.

균열에 대해 어느 정도까지 허용할 수 있는가는 구조물의 중요도, 발생위치 등에 따라 다르다. 균열이 발생하여 콘크리트나 철근의 단면적 부족현상이 생기면 원칙적으로 보수하지 않을 수 없다. 다만, 극한강도 설계법으로 검토하여 소정의 안전율을 가진 경우에는 보수할 필요가 없으며 응력적으로 콘크리트 철근의 단면적이 만족될 경우에도 하중에 대한 재검토를 실시하여 보수 여부를 검토하는 것이 필요하다. 균열의 방향이 2방향으로 서로 연결되는 경우에는 계산 이외의 힘이 작용할 가능성이 있으며, 계산상의 중립축에서 압축부까지 성장한 균열에 대해서도 주의가 필요하다. 그리고 시공요인에 의한 균열은 주로 재료의 강도 부족과 시공불량에 의한 것으로써 코아 채취, 슈미트 햄머 등으로 강도 측정을 하며 콘크리트의 강도 부족이 확인되는 경우에는 그 강도를 재계산하여 허용응력을 검토해 보아야 한다.

양생불량에 의해 발생하는 건조수축에 의한 균열은 일반적으로 활동이 정지되어 있는 상태이며, 보수를 필요로 하는 것이 많다. 그러나 활동하는 균열에 대해서는 균열이 확장되어 있는 시기인 저온기에 주입 보수하는 것이 유리하다.

철근의 방청 및 노출에 의한 균열은 내구성의 관점에서 보면 보수할 필요가 있다.

균열의 형태에는 표층부 균열, 심부 균열, 전단면 균열 등이 있는데 일반적으로 표층부 균열이나 심부 균열에서 폭이 0.1mm 이하인 경우는 특별한 외적 영향이 없는 한 자연 치유작용에 의해 속이 막히는 경우가 많지만 균열폭이 0.2mm 정도 이상이면 통수, 통기가 시작되고, 이것이 발전하여 콘크리트 열화, 철근 부식을 일으킨다. 따라서 균열폭이 0.2mm 정도 이상인 경우는 주의를 요한다.

#### 나. 구조물(터널의 점검 방법)

수로 터널의 경우 일반 도로 터널의 경우의 교통, 환기, 배수문제를 제외하면 내구성 및 안전성의 점검방법이 유사하므로 일상점검과 정기점검의 경우 점검항목을 표4-8과 같이 정리할 수 있다.

표 4-8 터널의 점검항목(일상점검+정기점검)

점검부위	점검항목	점검장비
터널 측벽(좌우)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 균열 : 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진전여부</li> <li>▪ 누수 ▪ 백화 ▪ 박리, 박락, 함몰</li> <li>▪ 철근 부식 여부(표면)</li> <li>▪ Con'c 강도 : 표면 타격법(Schmidt Hammer)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-슈미트 해머</li> <li>-균열경 및 균열 측정기</li> <li>-망치, 앤빌, 카메라, 손전등, 필기도구, 줄자</li> </ul>
터널 천정	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 균열 : 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진전여부</li> <li>▪ 누수 ▪ 백화 ▪ 박리, 박락, 함몰</li> <li>▪ 철근 부식 여부</li> <li>▪ Con'c 강도 : 표면 타격법(Schmidt Hammer)</li> </ul>	"
터널 바닥	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 노면상태(침하, 균열 등)</li> <li>▪ 안전사항 ▪ 용수</li> </ul>	육안 조사
터널 입구, 출구	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 균열 : 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진전여부</li> <li>▪ 누수 ▪ 백화 ▪ 박리, 박락, 함몰 ▪ 부등침하</li> <li>▪ Con'c 강도 : 표면타격법(Schmidt Hammer)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-슈미트 해머</li> <li>-균열경 및 균열측정기</li> <li>-망치, 앤빌, 카메라, 손전등, 필기도구, 줄자</li> </ul>
터널 비탈면	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 사면의 안정 상태, 변형 유무</li> </ul>	
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 매연 상태</li> </ul>	

정밀안전에서는 표4-9와 같은 항목을 조사하고 터널길이 방향으로 20m~60m로 구분 분할 측량을 실시한다. 책임기술자가 균열의 상태(길이, 깊이, 폭, 위치, 방향), 누수, 강도, 박리, 층분리, 박락, 백태, 손상, 동공, 철근의 부식도 및 잔여 철근 단면에 의한 구조물의 내하력, 터널주변 지반의 변동, 용수 등을 종합적으로 판단하여 터널의 안전성(A~E)을 판정한다.

표 4-9 터널의 점검항목(정밀안전진단)

점검부위	진단항목	방법
입출구부	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 균열조사</li> <li>- 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진전여부</li> </ul>	초음파 검사법 충격 탄성파법 레이다 탐사법
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 누수부위 탐사 - 누수량, 수질, 누수온도</li> </ul>	적외선 탐사법, 육안조사
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 백화 - 열화증상 및 현장조사, 열화물 함유량 시험</li> </ul>	중성화 시험 염해조사
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 콘크리트 강도</li> <li>- 표면타격법, 일축압축강도</li> </ul>	Schmidt Hammer 코아채취시험
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 터널주변 및 지반조사 - 사면 안정성 조사</li> </ul>	사면안정검토, 보링
본 터널	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 균열조사</li> <li>- 균열폭, 길이, 깊이, 균열의 진전여부</li> </ul>	초음파 검사법 균열측정기 충격 탄성파 시험
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 누수부위 탐사 - 누수량, 수질, 누수온도</li> </ul>	적외선 탐사법
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 2차 라이닝</li> <li>- 콘크리트 두께조사, 두께측정, Rock Bolt, Shotcrete, 열화조사, 열화물 함유량 시험</li> <li>- 라이닝 응력 측정</li> </ul>	중성화 시험 레이다 탐사법 충격 탄성파 시험 염해조사, 응력측정기
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 내부결함 탐사 - 공동, 박락, 박리부등 내부결함</li> </ul>	레이다 탐사법
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 콘크리트 강도</li> <li>- 철근배근 위치 탐사 및 철근 부식도 측정</li> </ul>	표면타격법 코아채취 시험 초음파 속도 레이다 탐사 전위차 측정기
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 강지보공 규격 및 설치간격</li> </ul>	"
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 터널 단면 변위 계측 - 내공변위 등</li> </ul>	광파 측정기, 내공 변위계
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 열화증상 - 백화, 중성화 시험</li> </ul>	중성화 시험기
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 지반상태</li> <li>- 풍화정도, 일축압축 강도, R.Q.D.</li> </ul>	보링(Boring)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 노면상태 및 주행성</li> <li>▪ 부속시설의 상태 및 안전성 - 조명, 환기</li> </ul>	육안조사 "
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 퇴적물 상태</li> <li>- 시설물 이력카드 작성 여부 및 보수이력 확인</li> </ul>	육안조사 및 진동소음기

## 2. 조사방법 및 진단방법 개발

### 가. 서론

본 절에서는 2절에서 제시한 점검방법을 기초로 농업구조물에 적합한 구조물별, 조사내용 표기방법, 부위별 상세한 결함 및 결함의 고유번호, 점수체계와 이를 이용한 내구성 판정 Rule을 설명한다. 2절에서 설명한 바와 같이 교량을 다른 구조물의 결함을 대부분 포함하고 있으므로 교량의 결함을 전체 구조물의 결함에 관한 데이터베이스로 보고 이를 심도있게 설명하고 다른 구조물(수로교, 개수로 라이닝, 용벽)의 경우는 교량의 결함 데이터베이스를 활용하여 내구성 및 안전성을 판정하도록한다. 전체적인 상태 판정 Process는 그림4-4와 같다.

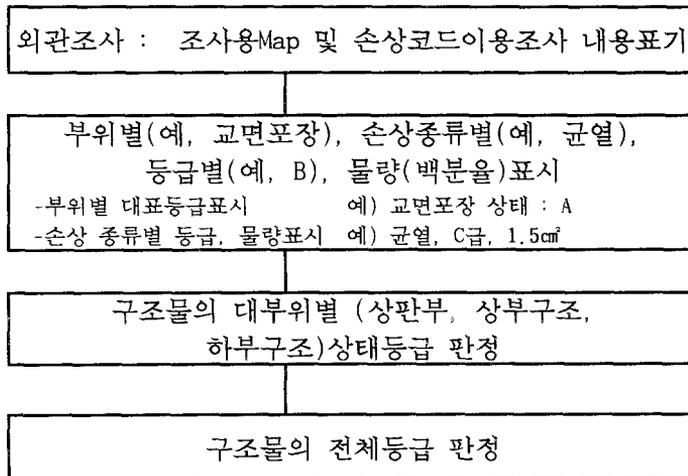


그림 4-4 구조물 부위별, 전체 상태 판정

### 나. 현장조사내용 기입 방법

교량의 형태가 다양하여 조사용 Mapping 양식을 일반화시키기는 쉽지 않다. 그러나 소규모 농로교나 농업시설물은 부재형태가 비교적 단순하여 활용 가능한 형태의 양식을 지정해 볼 수 있다. 본 연구에서는 교량형태 중 상부구조가 콘크리트 슬래브와 주형으로 이루어지고 교대와 교각형태가 옹벽형으로 가장 단순한 형태를 선정하여 조사망 형식을 제시하여 이를 농로교나 다른 구조물에 응용하기로 하였다.

( )교 바닥판 상면 외관조사망 (제 경간)	일련번호 :	( )교 바닥판 하면 외관조사망 (제 경간)	일련번호 :
<p>방향</p> <p>방향</p>	<p>L=</p> <p>W=</p> <p>A: 균열 (포장 후타제)</p> <p>B: 표장의 요철</p> <p>C: 박리 및 파손</p> <p>D: 편칭 또는 공동</p> <p>E: 배수구</p> <p>F: 신축이음 본체</p>	<p>방향</p> <p>교대, 교각 번호 :</p> <p>주형 1 주형 2 주형 3 주형 4 주형 5</p> <p>교대, 교각 번호 :</p> <p>방향</p>	

그림 4-5 교량 바닥판 외관조사망

그림 4-6 교량 바닥판하면 외관조사망

( )교 주형 외관조사망 (제 경간)	일련번호 :	( )교 교대 외관조사망 (제 경간)	일련번호 :
<p>방향</p> <p>주형 1 주형 2 주형 3 주형 4</p> <p>방향</p>	<p>콘크리트 주형</p> <p>A: 균열 (포장 후타제)</p> <p>G: 박태</p> <p>C: 박리 및 파손</p> <p>D: 편칭 또는 공동</p> <p>H: 철근노출</p> <p>강재 주형</p> <p>K: 표면 부식</p> <p>L: 연결상태 (볼트 용접)</p> <p>M: 파손</p> <p>N: 좌굴 및 변형</p>	<p>교대 번호 :</p> <p>교대 번호 :</p>	<p>A: 균열 (포장 후타제)</p> <p>G: 박태</p> <p>C: 박리 및 파손</p> <p>D: 편칭 또는 공동</p> <p>H: 철근노출</p> <p>O: 기초의 세굴</p>

그림 4-7 교량 주형의 외관조사망

그림 4-8 교대의 외관조사망

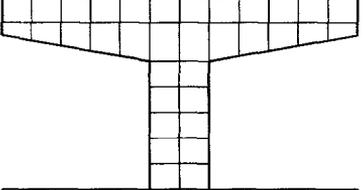
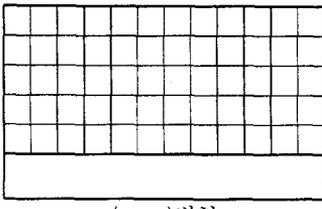
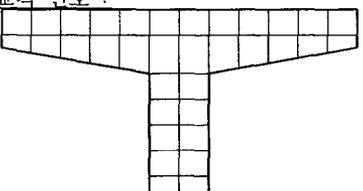
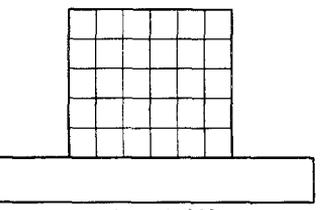
Form A		Form A	
( )교 교각 외관조사망 (제 경간)	일련번호 :	( )교 교각 외관조사망	일련번호 :
교각 번호 : 	A: 균열 (포장 후타재) G: 백태 C: 박리 및 파손 D: 편칭 또는 공동 H: 철근노출 O: 기초의 세굴	교대 번호 : 	A: 균열 (포장 후타재) G: 백태 C: 박리 및 파손 D: 편칭 또는 공동 H: 철근노출 O: 기초의 세굴
교각 번호 : 	( )방향 	( )방향	

그림 4-9 교각 외관조사망(Type 1)

그림 4-10 교각 외관조사망(Type 2)

제시된 조사망 형식을 PDA(Personal Digital Assistant)에서 생성하여 현장조사 내용을 직접 컴퓨터에 입력하는 방안을 추진하였으나 연구당시 PDA가 소개되다가 시장에서 거의 관심을 끌지 못하고 생산자체가 중단된 형편이었기 때문에 조사망 형식에 직접 기입하는 방법을 택하기로 하였다.

결함은 구조물 부위별 하자별 등급표(표4-11. Form B)를 기준으로 조사하여 기입한다. 표4-12의 결함의 종류는 일반 교량 구조를 중심으로 작성하였으나 연구에서 대상으로 삼은 농로교, 수로교, 개수로 라이닝, 터널 라이닝 등의 결함이 여기에 모두 포함됨으로 일반 교량의 결함 종류 및 등급은 농업구조물에 적용될 수 있다.

표4-12은 표4-11의 구조물 부위별 결함 중 농업 구조물에 사용될 수 있는 것들을 결함 종류번호(Group II Defect ID)로 나타내 정리한 것이다. 다음표는 교량의 경우 Group I, Group II 및 Defect ID(표4-11 참조)를 정리한 것이다.



표4-11 구조물 부위별 하자별 등급(Form B)

상판부 (Group 1 ID 10)  
교면포장(아스팔트) (Group 2 ID 11)

등급	단차(501)		균열(502)		요철(503)		함몰(504)		GroupII 등급별 불량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음	94%	없음, 미세균열	93%	없음	94%	없음	96%	
B	없음	0	일방향, 균열을 20%미만	4%	없음	0	없음	0	
C	경미	6%	균열을 20~30%	3%	경미	6%	부분적 얇은 함몰	0	
D	주행성 저하	0	거북등균열, 균열을 30%이상	0	주행성 저하	0	깊이 30mm이상 함몰	0	
E	심한충격	0	거북등균열, 균열을 30%이상	0	심한충격	0	전반적인 함몰, 탈락	4%	

표 4-11 Continued

상판부 (Group 1 ID 10)  
교면포장(콘크리트) (Group 2 ID 12)

등 급	균열(101)		박리(102)		파손(104)		GroupII 등급별 불량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 미세균열		없음		없음		
B	0.3mm이하 다수발생		없음		없음		
C	0.3mm이상 다수발생		부분적으로 발생		없음		
D	0.3mm이상 다수발생		심화, 골재마모		부분적인 표면손상		
E	0.3mm이상 다수발생				전반적인 표면손상		

표 4-11 Continued

상판부 (Group 1 ID 10)  
배수시설 (Group 2 ID 20)

등급	균열(104)		누수 및 체수(601)		오염(605)		GroupII 등급별 불량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	양호		없음		없음		
B	양호		다소의 퇴적물		없음		
C	상태불량		퇴적물, 일시적인 체수		상판하면 부식		
D	일부파손		많은 퇴적물, 누수		주구조물 부식 초기		
E	파손		심한 누수와 체수		전반적인 부식		

표 4-11 Continued

상판부 (Group 1 ID 10)  
 난간연석(콘크리트) (Group 2 ID 30)

등급	균열(101)		박리(102)		파손(104)		철근노출(201)		GroupII 등급별 불량량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 미세균열		없음		없음		없음		
B	0.3mm이하 다수발생		표면 변색		없음		없음		
C	0.3mm이상 다수발생		국부적		국부적		없음		
D	0.3mm이상 다수발생		전반적		국부적		부분적, 부식동반		
E	0.3mm이상 다수발생		전반적		전반적		다수 발생		

표 4-11 Continued

상판부 (Group 1 ID 10)  
 상판(균열 및 탈락) (Group 2 ID 40)

등급	균열(101)				박리(102)		GroupII 등급별 불량량
	일방향 균열		이방향 균열				
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 0.1mm 이하 부분적		없음		없음		
B	0.1~0.2mm 간헐적(30cm 이하)		없음		없음		
C	0.1~0.2mm 길이 50cm이상 (20cm 이하간격)		0.1~0.2mm 부분적		없음		
D	0.1~0.2mm 길이 50cm이상(20cm이하간격)		0.2~0.3mm 망상균열 형태		국부적		
E	0.4mm 이상 균열로 발전		0.2~0.3mm 망상균열 형태		전반적		

표 4-11 Continued

등급	백태(103)		파손(104)		철근노출(201)		오염(605)		Group II 등급별 물량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 보수 후 원상회복 상태 포함		없음		없음		없음		
B	국부적 발생, 초기상태		없음		없음		없음		
C	표면전반에 얇은 백태		국부적		없음		균열사이로 누수		
D	균열 주변에 심한 백태		국부적		부분적, 부식동반		균열주변으로 누수 악화, 콘크리트 표면 부식		
E	균열 주변에 심한 백태		전반적		다수 발생, 부식 심화		균열 사이로 녹물이나 니트발생, 부식에 의한 탈락		

표 4-11 Continued

상판부 (Group 1 ID 10)  
 신축이음 장치 본체(고무형) (Group 2 ID 51)

등급	누수(601R)		유간(603)		노화(801)		탈락(803)		등급별 물량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음		정상동작		없음		없음		
B	없음		정상동작		고무판 노화		없음		
C	물받이 파손으로 누수발생		유간사이 이물 질로 기능 불량		물받이 고무의 부분파손		없음		
D	누수로 인한 신축이음 하부 구조물 부식발생		유간이 폐쇄 혹은 비정상적으로 뚫음		고무판 균열		볼트 또는 너트의 부분탈락		
E	하부 구조물의 부식 심화		유간이 폐쇄 혹은 비정상적으로 뚫음		고무판 균열		신축이음 본체 탈락		

표 4-11 Continued

상판부 (Group 1 ID 10)

신축이음 장치 본체(강재형) (Group 2 ID 52)

등급	누수(601S)		유간(603)		부식(301)		균열(303)		등급별 물량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음		정상동작		없음		없음		
B	면지, 토사등으로 오염		정상동작		없음		없음		
C	물받이 파손 혹은 미설치		유간사이 이물질로 기능 불량 이상음 발생		없음		없음		
D	누수로 인한 신축이음 하부 구조물 부식발생		강판 유동으로 이상음 커짐		국부적인 부식		볼트 또는 너트의 부분탈락		
E	하부 구조물의 부식 심화		강판 유동으로 이상음 커짐		하부 전체적 부식, 국부적 변형		상부 강판 탈락, 본체유동		

표 4-11 Continued

상판부 (Group 1 ID 10)

신축이음 장치의 후타설재 (Group 2 ID 20)

등급	균열(101)		파손(103)		등급별 물량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음		없음		
B	0.2mm균열 1m 이하간격		없음		
C	0.3~0.5mm균열 50cm 이하 간격		국부적인 파손		
D	1mm이상 균열 30cm 이하 간격		유간이 매몰, 단차에 의한 충격		
E	1mm이상 균열 30cm 이하 간격		전체적으로 파손 진행		

표 4-11 Continued

상부구조(Group 1 ID 20)

콘크리트 주형(중양부) (Group 2 ID 11)

등급	균열(101)		박리(102)		철근 노출(201),		등급별 물량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 0.1mm이하 미세균열, 보수로 원상복구		없음		없음		
B	부분적으로 전폭에 0.1~0.2mm 횡방향 균열		없음		없음		
C	하부플랜지 전폭에 0.2~0.3mm 복부의 1/3H까지 발전		부분적 박리		부분적 철근 노출		
D	0.2~0.4mm 횡방향균열 복부의 2/3H까지 발전		박리의 심화		철근 노출부의 확장		
E	0.4mm이상 횡방향 균열 복부 2/3H이상 발전		균열에 의한 탈락		철근 노출부의 심화		

표 4-11 Continued

상부구조(Group 1 ID 20)  
콘크리트 주형(지점부) (Group 2 ID 12)

등급	균열(101)		박리(102)		철근 노출(201)		등급별 물량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 0.1mm이하 미세균열, 보수로 원상복구		없음		없음		
B	부분적으로 주형 복부에 사인장 균열 발생 초기		없음		피복이 얇아 철근 노출		
C	0.2~0.3mm 지점방향으로 사인장 균열이 복부의 1/3까지 발전		부분적 박리		국부적인 철근 노출		
D	0.3~0.4mm 사인장 균열 복부의 2/3까지 발전		박리의 심화		철근 노출 50cm 가량		
E	0.4mm이상 횡방향 균열 복부 2/3이상 발전		단부 후방 콘크리트 파손으로 탈락		철근 노출부의 심화		

표 4-11 Continued

상부구조(Group 1 ID 20)  
프리스트레스 주형(중양부) (Group 2 ID 21)

등급	콘크리트				철근, PC강재, 쉬스관		등급별 물량
	균열(101)		박리(102)		노출(103)		
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 보수로 원상복구		없음		없음		
B	부분적으로 하부플랜지에 0.1mm이하의 횡방향 균열		없음		없음		
C	하부플랜지 전폭에 0.1~0.2mm 복부의 1/5까지 발전		부분적 박리		철근, PC강재, 쉬스관이 국부적으로 노출		
D	0.2~0.3mm 횡방향균열 복부의 1/3까지 발전		박리의 심화		철근, PC강재, 쉬스관이 약 50cm가량 노출		
E	0.3mm이상 횡방향 균열 복부 1/2이상 발전		균열 탈락이 우려됨		철근, PC강재, 쉬스관의 노출이 심화		

표 4-11 Continued

상부구조(Group 1 ID 20)  
프리스트레스 주형(지점부) (Group 2 ID 22)

등급	콘크리트				철근, PC강재, 쉬스관		등급별 물량
	균열(101)		박리(102)		노출(103)		
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 보수로 원상복구		없음		없음		
B	0.1mm이하의 사인장 균열 발전 시작		없음		없음		
C	하부플랜지 전폭에 0.1~0.2mm 사인장 균열 복부의 1/5H까지 발전		부분적 박리		철근의 국부적인 노출, PC 정착구 부근에 미세균열		
D	0.2~0.3mm 사인장균열 복부의 1/3H까지 발전		박리의 심화		철근 노출 50cm가량, PC 정착 부근의 균열 성장		
E	0.3mm이상 사인장 균열 복부 1/2H이상 발전		단부후방 파손, 탈락		균열 탈락으로 PC 정착구의 노출		

표 4-11 Continued

하부구조(Group 1 ID 30)  
교좌장치(강재) (Group 2 ID 11)

등급	받침부				교좌장치					등급별 물량	
	균열(101)		파손(104)		부식 및 변형(301)		균열(303)		파손(304)		
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description		Q'ty
A	없음		없음		없음		없음		없음		
B	미세균열		미세균열		부분적 녹발생		고정볼트 이완		고정볼트 이완		
C	박리, 토사 퇴적		박리, 토사 퇴적		부분적 녹발생		정상위치에 서 이탈		정상위치 에서 이탈		
D	토사퇴적 심화, 기능상 장애 발생		토사퇴적 심화, 기능상 장애 발생		부식 심화, 부분적 변형		균열, 경사발생 볼트탈락		균열, 경사발생 볼트탈락		
E	기능 상실		기능 상실		형태 손상		부분적 파손		부분적 파손		

표 4-11 Continued

하부구조(Group 1 ID 30)  
교좌장치(고무재) (Group 2 ID 12)

등급	받침부				교좌 장치		등급별 물량
	균열(101)		파손(104)		노화(801)		
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음		없음		없음		
B	미세균열		미세균열		측면에 미세균열		
C	박리, 토사 퇴적		박리, 토사 퇴적		균열 확대		
D	토사퇴적 심화, 기능상 장애 발생		토사퇴적 심화, 기능상 장애 발생		균열 심화, 최대 변형량이 교좌두께 이상		
E	기능상실		기능상실		균열 심화, 최대 변형량이 교좌두께 이상		

등급	교좌 장치						등급별 물량
	균열(802)		탈락(803)		파손(804)		
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음		없음		없음		
B	측면에 미세균열		없음		없음		
C	균열 확대		측면 부풀음		측면 부풀음		
D	균열 심화, 최대 변형량이 교좌두께 이상		고무재의 기능 상실		고무재의 기능 상실		
E	균열 심화, 최대 변형량이 교좌두께 이상		고무파손, 단차발생		고무파손, 단차발생		

표 4-11 Continued

하부구조(Group 1 ID 30)  
교대 (Group 2 ID 20)

등급	균열(101), 박리(102), 백태(103), 파손(104)						등급별 물량
	교대본체		교대에 날개벽 사이		주형 받침부		
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 0.1mm이하 균열		없음		없음		
B	0.2mm 균열 부분적, 표면부식		미세균열		없음		
C	0.2~0.4mm 종방향 균열 부분적 시공이음부와 단면변화부에 횡방향 균열		부분적 균열		박리가 부분적 발생		
D	0.5mm 종방향 균열, 균열 사이 백태 심함		연결부의 분리되어 기울어짐		콘크리트 부식 및 탈락		
E	0.5mm 이상 균열, 일부 탈락		날개벽이 토압에 의해 기울어짐		콘크리트 부식 및 탈락		

하부구조(Group 1 ID 30)  
교각 (Group 2 ID 30)

등급	콘크리트						철근		등급별 물량
	균열(101)		박리(102)		파손(104)		노출(201)		
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	0.1mm이하		없음		없음		없음		
B	0.2mm 비구조적 균열		없음		없음		없음		
C	0.2~0.3mm 균열 50cm간격, 사인장 균열 코핑부 1/2r 정도		콘크리트 피복이 박리현상, 교차하부 콘크리트 탈락		콘크리트 피복이 박리현상, 교차하부 콘크리트 탈락		없음		
D	0.5mm 이상 균열 50cm간격		피복 탈락, 단면 축소		피복 탈락, 단면 축소		철근 부분적 노출		
E	0.5mm 이상 균열		구체 콘크리트 탈락, 부분적 교각 파손		구체 콘크리트 탈락, 부분적 교각 파손		철근 노출, 부식 심화		

하부구조(Group 1 ID 30)  
기초 (Group 2 ID 40)

등급	세굴(701)		침하(702)		파일손상(703)		등급별 물량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 방지장치 설치		없음		없음		
B	부분적이지만 진행성		기초 잔류심도가 기초길이 1/2이하		없음		
C	전반적 세굴, 발전성		기초 잔류심도 2m이하, 침하가 15mm가량 발생		세굴면에 골재노출		
D	세굴이 명확히 진행		침하가 25mm가량, 구체의 기울어짐 시작		기초선단 노출 우려, 단면 축소		
E			침하가 25mm이상, 교량 주요부에 손상이 확연		전면적이 단면 축소		

표4-12 각 농업구조물 별 Defect ID 및 구조물 전체등급 판정 시 Group I 부위별 Score

	Group I		Group II	Group II Defect ID	부위별 Score**
	상부 구조	상판부 10*	주형 20*	하부 구조 30*	
수로교		상판부 10*	40	1011, 1012, 102, 103, 104, 201, 104, 201, 605	30
			51+53	601R, 603, 801, 803 + 101, 103	
		주형 20*	11, 12	101, 102, 201	20
			12	801, 802, 803, 804, 101, 104	50
	하부 구조 30*	20	101, 102, 103, 104, 201		
		30	101, 102, 103, 104, 201		
		40	701, 702, 703		
개수로 라이닝		라이닝 10*	40	1011, 1012, 102, 103, 104, 201, 605	100
		51+53	601R, 603, 801, 803 + 101, 103		
터널 라이닝	터널 라이닝 10*	40	1011, 1012, 102, 103, 104, 201, 605	100	
		51+53	601R, 603, 801, 803 + 101, 103		
옹벽	옹벽 구조 10*	40	1011, 1012, 102, 103, 104, 201, 605	100	
		51+53	601R, 603, 801, 803 + 101, 103		

\* 10은 교량 상판부에 해당, 20은 교량 주형에 해당, 30은 교량 하부구조에 해당

\*\* 구조물 전체 등급 판정, 구조물 부위별, 전체 판정절차의 Step 6에 사용

이상의 교량등급판정에 이용된 부위별 Defect중 나머지 농업구조물별 등급판정에 활용할 Defect내용 및 ID를 정리하면 다음과 같다. 이를 이용하여 각 구조물별 등급판정방법은 교량의 경우와 동일하다.

라. 등급별물량산정

Form B의 결합별 물량으로부터 부위별 등급별 물량을 계산한다. 등급별 물량은 Group II Defect 별 가중치에 Group II Defect 별 물량(%)을 곱해서 더하면 된다.

예를 들면, 교량상판부(Group I, ID: 10)의 교면 포함(Group I ID: 10)의 교면포함(Group II ID: 아스팔트의 경우 11, 교면 포장의 경우 12)에서 A등급 물량은 다음 세항을 합하면 된다.

- 단차(Group I, ID: 501)의 A급 물량(%) × 단차(ID501)의 가중치
- 균열(Group I, ID: 502)의 A급 물량(%) × 균열(ID502)의 가중치
- 요철(Group I, ID: 503)의 A급 물량(%) × 요철(ID503)의 가중치

여기서 Group II Defect별 가중치는 하자나 결합의 종류가 구조물의 안정성, 사용성 그리고 내구성에 미치는 영향을 감안하여 표4-13과 같이 정하였다.

표4-13 Defect별 Weight

Group I	Group II	Group II의 Defect별 Weight(Weight/Defect ID)	Remarke
상판부 10	· 교면포장(아스팔트) 11	25/501 25/502 50/503	
	· 교면포장(콘크리트) 12	25/101 25/102 50/104	
	· 배수시설 20	40/104 40/601 20/605	
	· 난간연석 30	20/101 20/102 30/104 30/201	
	· 상판 40	25/1011(1012) 10/102 15/104 10/201 10/103 5/605	
	· 신축이음장치- 고무형 51	25/601 25/603 25/801 25/803	
	· 강제형 52	25/601 25/603 25/301 25/303	
	· 후타설재 53	50/101 50/103	
상부구조 20	· 콘크리트주형(중앙부) 11	40/101 30/102 30/201	
	· 콘크리트주형(지점부) 21	40/101 30/102 30/201	
	· PC주형(중앙부) 12	40/101 30/102 30/103	
	· PC주형(지점부) 22	40/101 30/102 30/103	
하부구조 30	· 교좌장치(강재) 11	20/301 40/303 40/101	
	· 교좌장치(고무재) 12	20/301 40/303 40/101	
	· 교대 20	30/101 30/102 40/103	
	· 교각 30	40/101 30/102 30/103	
	· 기초 40	40/701 30/702 30/703	

다. Group II 항목별 등급 결정

Group II는 구조물 부위별(상판, 상부구조, 하부구조) 구성요소(예: 상판부의 교면 포장)를 말하는데 항목별등급(즉, 상판부의 포장상태 등급)은 다음과 같이 결정한다.

등급 판정을 위한 Score는 등급별 물량에 Group II 등급별 점수를 곱하여 구한다. 여기서 Group II 등급별 점수는 Group I으로 분류한 부위의 최대 Score가 100이 되게 하고 Group II를 구성하는 부위별 중요도에 따라 최대치를 표4-15 과 같이 분배한 다음 등급별 점수를 차등 배분하였다. 계산된 Score에 따라 다음과 같이 항목별 등급을 결정한다.

표 4-14 등급별 점수 배분

판정등급	A	B	C	D	E
최대 Score 10	9~10	7~9	5~7	3~5	0~3
최대 Score 15	13.5~15	10.5~13.5	7.5~10.5	4.5~7.5	0~4.5
최대 Score 20	17.5~20	12.5~17.5	7.5~12.5	3.0~7.5	0~3.0
최대 Score 25	22.5~25	17.5~22.5	12.5~22.5	7.5~12.5	0~7.5
최대 Score 35	31.5~35	24.5~31.5	17.5~24.5	10.5~17.5	0~10.5
최대 Score 40	36.0~40.0	28.0~30.0	20.0~28.0	12.0~20.0	0~12.0
최대 Score 50	45~50	35~45	25~35	15~25	0~15

표 4-15 Group II 등급별 점수

Group I	Group II	Group II의 등급별 점수					Remarque		
		최대 Score	A	B	C	D		E	
상판부 10	• 교면포장(아스팔트)	11	20	20	15	10	5	1	최대 Score Total:100
	• 교면포장(콘크리트)	12	20	20	15	10	5	1	
	• 배수시설	20	10	10	8	6	4	2	
	• 난방시설	30	10	10	8	6	4	2	
	• 상판부 신축이음장치	40	40	40	32	24	16	8	
	• 고무형 강재설치	51	20	20	16	12	8	4	
	• 후타설치	52							
		53							
상부구조 20	• 콘크리트주형(중상부)	11	50	50	40	30	20	10	최대 Score Total:100
	• 콘크리트주형(지점부)	21	50	50	40	30	20	10	
	• PC주형(중상부)	12	50	50	40	30	20	10	
	• PC주형(지점부)	22	50	50	40	30	20	10	
하부구조 30	• 교좌장치(강재)	11	15	15	12	9	6	3	최대 Score Total:100
	• 교좌장치(고부재)	12	15	15	12	9	6	3	
	• 교대	20	25	25	20	15	10	5	
	• 교각	30	25	25	20	15	10	5	
	• 기초	40	35	35	28	21	14	7	

바. Group I 부위별 점수 및 등급 판정

Group II 항목별 점수를 합산하여 부위별 최대 Score의 합과 비교한다. 이 점수를 이용하여 다음과 같이 Group I 부위별 등급을 판정한다.

- A급 : 90 ~ 100                      D급 : 30 ~ 70
- B급 : 70 ~ 90                        E급 : 0 ~ 30
- C급 : 50 ~ 70

사. 구조물 전체등급판정 및 판정내용 정리

구조물 전체 판정시 Group I 부위별 Score는 교량 구조물의 전체의 안전과 기능에 대한 영향을 고려하여 표4-16과 같이 취하였다.

표 4-16 Group I 부위별 점수

구조물 종류	부위(Group I ID)	Score Assigned
교량	상판부 (10)	25
	상부구조 (20)	35
	하부구조 (30)	40
수로교	상판부 (10)	30
	주형 (20)	20
	하부구조	50
개수로	라이닝 (10)	100
터널라이닝	터널라이닝 (10)	100
옹벽	옹벽구조 (10)	100

이로부터 Group I 부위별 Score에 위 표에서 부여한 Score의 1/100을 곱하여 더하면 전체 구조물의 Score가 되는데 이로부터 구조물 전체의 등급을 결정할 수 있으며 등급별 Score는 다음과 같다.

- A급 : 90 ~ 100                      D급 : 30 ~ 70
- B급 : 70 ~ 90                        E급 : 0 ~ 30
- C급 : 50 ~ 70

이상의 판정 내용을 정리하면 구조물 전체등급 및 점수, 부위별 등급 및 점수, 지구별 등급 및 점수를 원하는 대로 정리할 수 있다.

설명한 바를 요약하면 다음과 같은 Flow Chart로 나타낼 수 있으며 이를 이용하여 교량 상판의 판정과정을 예로 설명하고자 한다.

## 구조물 부위별 및 전체 상태 판정 Flow Chart

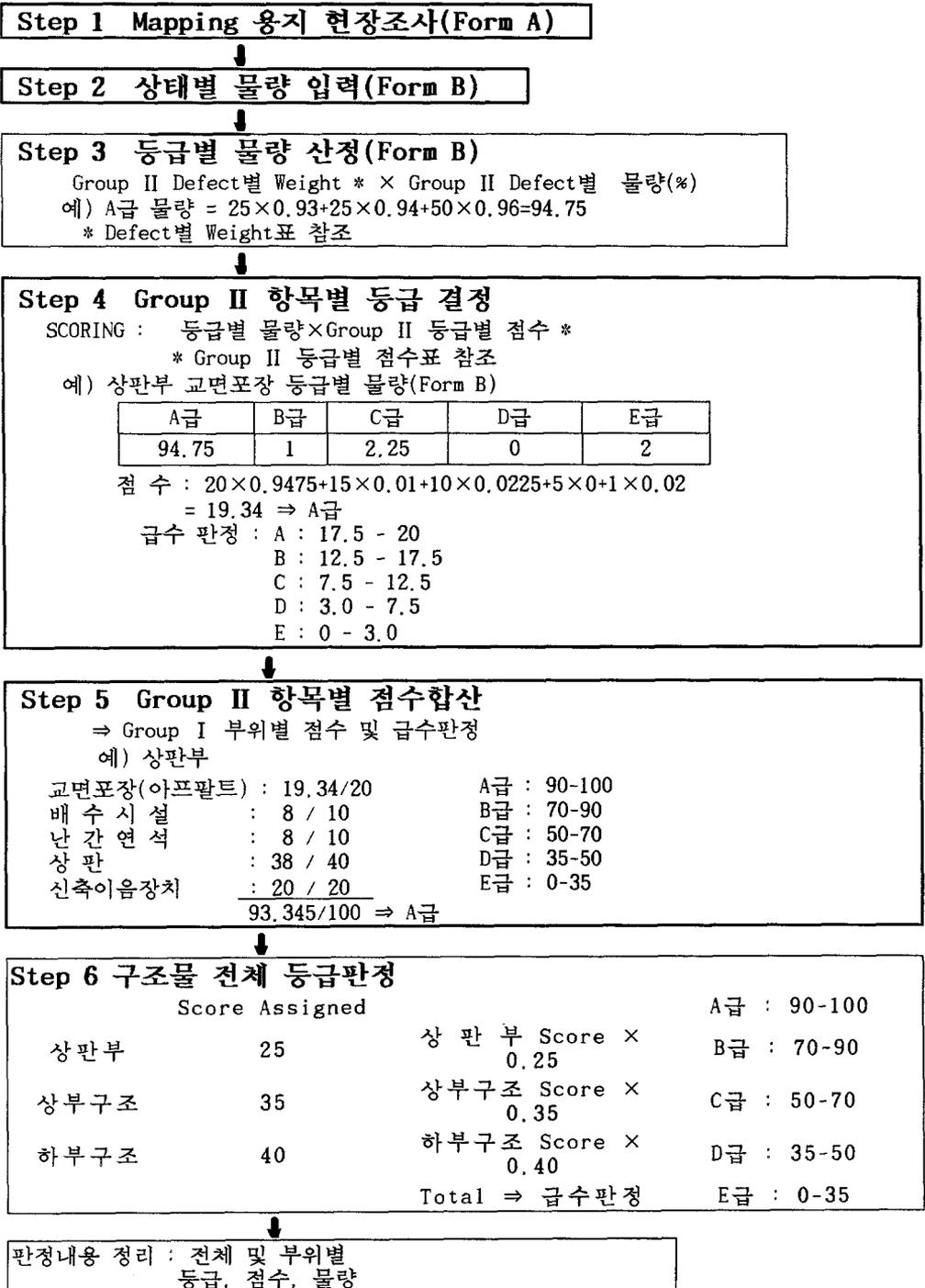


그림 4-11 조사 및 진단 Flow Chart

아. 시스템 적용순서(예)

다음은 개발된 System의 Flow를 따라서 교량 상판부의 교면포장에 대한 진단을 실시하는 과정 및 최종 Output을 예시한 것이다.

Step 1 Mapping 용지 현장조사(Form A)

(그림 4-12 참조)

Step 2 상태별 물량 입력(Form B)

(표4-17 참조)

Step 3 등급별 물량 산정(Form B)

Group II Defect별 Weight \* × Group II Defect별 물량(%)

예) A급 물량 =  $25 \times 0.93 + 25 \times 0.94 + 50 \times 0.96 = 94.75$

\* Defect별 Weight(표4-13) 참조

표 4-17 Group II 등급별 물량산정예(상판부 교면포장)  
교면포장 (아스팔트) 11

Form B

등급	단차(501)		균열(502)		요철(503)		Group II 등급별 물량
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음	94%	없음, 미세균열	93%	없음	96%	$25 \times 0.94 + 25 \times 0.93 + 50 \times 0.96 = 94.75$
B	없음	0	일방향, 균열을 20%미만	4%	없음	0	$25 \times 0 + 25 \times 0.04 + 50 \times 0 = 1$
C	경미	6%	균열을 20~30%	3%	경미	0	$25 \times 0.06 + 25 \times 0.03 + 50 \times 0 = 2.25$
D	주행성 저하	0	거북등균열, 균열을 30%이상	0	주행성 저하	0	$25 \times 0 + 25 \times 0 + 50 \times 0 = 0$
E	심한충격	0	거북등균열, 균열을 30%이상	0	심한충격	4%	$25 \times 0 + 25 \times 0 + 25 \times 0.04 = 1$

\* 등급 B, C, D, E의 수량을 기재한 후 A등급수량은 자동결정.  
A등급수량 =  $100 - (B, C, D, E \text{ 등급수량의 합})$

Step 4 Group II 항목별 등급 결정 예(표4-14)

SCORING : 등급별 물량 × Group II 등급별 점수 \*

\* Group II 등급별 점수(표8 참조)

예) 상판부, 교면포장(GroupI ID:10, GroupII ID:11) 등급별 물량(Form B)

등급	A급	B급	C급	D급	E급	비고
등급별 물량	94.75	1	2.25	0	2	Form B (표 2)
등급별 점수	20	15	10	5	1	표 3
Score	20×0.9475	15×0.01	10×0.0225	5×0	1×0.02	Total : 19.34(A급)

점 수 :  $20 \times 0.9475 + 15 \times 0.01 + 10 \times 0.0225 + 5 \times 0 + 1 \times 0.02$

= 19.34 ⇒ A급

급수 판정 : A : 17.5 - 20

B : 12.5 - 17.5

C : 7.5 - 12.5

D : 3.0 - 7.5

E : 0 - 3.0

Step 5 GroupII 항목별 점수합산

⇒ Group I 부위별 점수 및 등급판정

예) Step 4에서 상판부 부위별 Score가 배수시설 8점, 난간연석 8점, 상판 38점, 신축이음장치 20점으로 계산되었다고 하면

상판부 부위별	교면포장	배수시설	난간연석	상판	신축이음장치	Total
Score	19.34	8	8	38	20	93.34
부위별 최대 Score *	20	10	10	40	20	100

\* 표 12 GroupII 등급별 점수 중 최대 Score 참조

등급 : A급

교면포장(아프팔트) : 19.34/20

A급 : 90-100

배수시설 : 8 / 10

B급 : 70-90

난간연석 : 8 / 10

C급 : 50-70

상판 : 38 / 40

D급 : 35-50

신축이음장치 : 20 / 20

E급 : 0-35

93.345/100 ⇒ A급

Step 6 구조물 전체 등급판정

구조물 전체 판정시 Group I 부위별 Score는 교량 구조물의 전체의 안전과 기능에

대한 영향을 고려하여 다음과 같이 취하였다.

구조물 종류	부위 (Group I ID)	Score Assigned
교량	상판부 (10)	25
	상부구조 (20)	35
	하부구조 (30)	40

	Score Assigned		A급 : 90-100
상판부	25	상 판 부 Score $\times$ 0.25	B급 : 70-90
상부구조	35	상부구조 Score $\times$ 0.35	C급 : 50-70
하부구조	40	하부구조 Score $\times$ 0.40	D급 : 35-50
Total $\Rightarrow$ 급수판정			E급 : 0-35

예) Step 5에서 상판부 Score가 93.34로 계산되었고, 상부구조가 70, 하부구조가 80으로 계산되었다고 가정하면 이 교량의 전체등급은 상판부 A등급, 상부구조 B등급, 하부구조 B등급으로

$$93.34 \times 0.25 + 70 \times 0.35 + 80 \times 0.4 = 79.8 \Rightarrow \text{B급으로 판정되었다.}$$

#### Step 7 판정내용 정리

교량 : B급(79.8점)

상판부 : A급(93.34점)

상부구조 : B급(70점)

하부구조 : B급(80점)

열화물량 산정 :

$$501-C : 30 \times 0.06 = 1.8m^2$$

$$502-B : 30 \times 0.04 = 1.2m^2$$

$$502-C : 30 \times 0.03 = 0.9m^2$$

$$503-C : 30 \times 0.04 = 1.2m^2$$

판정결과 등급별 조치는 다음과 같다.

A급 : 정상유지

B급 : 정기관찰

C급 : 부분보수 혹은 부분보강

D급 : 전면보수 혹은 전면보강

E급 : 철거 후 신설

System Output : 1. 열화 손상 상태 통계, 2. 등급, 3. 대책등

ID ○○ - ○○ - ○○○ - ○ Group I Group II Defect 상태	Description				Q'ty	Unit	판정	Possible Repair Method	Recommend
	부위		손상상태						
	Group I	Group II	손상종류	등급상태					
10-11-501-C	상판부	교면포장 (아스팔트)	단차	B	1.8	m <sup>2</sup>	정기 관찰 01-2 01-2-1 01-2-2 01-2-3	01-6 01-7	01-2
10-11-502-B	상판부	교면포장 (아스팔트)	균열	B	1.2	m <sup>2</sup>	정기 관찰 01-1 01-2	01-2-1 01-3 01-2-2 01-4 01-2-3 01-6	01-3
10-11-502-C	상판부	교면포장 (아스팔트)	균열	C	0.9	m <sup>2</sup>	부분 보수 01-1 01-2	01-2-1 01-3 01-2-2 01-4 01-2-3 01-6	01-2
10-11-503-C	상판부	교면포장 (아스팔트)	요철	C	1.2	m <sup>2</sup>	부분 보수 01-1 01-2	01-2-1 01-3 01-2-2 01-4 01-2-3 01-5 01-6	01-5

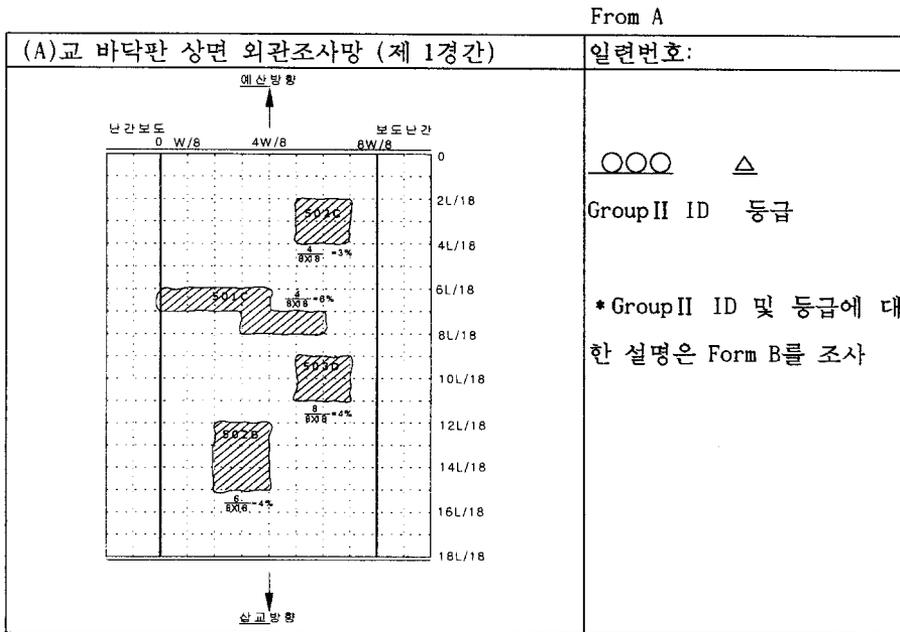


그림 4-12 외관조사(예, 바닥판상면)

## 제4절 요약 및 결론

일반적인 구조물의 조사 및 안전진단 방법을 검토 정리하여 농업구조물의 진단에 참고 하도록 하였다. 1,2종 구조물의 경우 일반구조물의 점검방법이나 정밀안전진단과 동일한 과정을 따르면 될것이나, 이러한 체계적인 안전진단의 대상이 되지 못하는 대부분의 농업구조물의 경우, 소수의 비전문 인력으로도 신속·정확하게 수집할 수 있는 구조물별 조사 방법과 조사된 자료를 근거로 보수·보강 혹은 신설 등의 판단을 객관성있게 내릴 수 있는 대책 결정 System이 필요하다, 소규모의 농업구조물에서는 정확한 조사가 판정의 전부를 차지 한다고 보아도 된다. 본 장에서는, 따라서, 일반적인 일반 구조물들의 현장 조사 방법을 정리 검토하여 농업구조물의 진단에 필수적인 조사내용을 도출 할 수 있도록 하였다.

다양한 파괴 비파괴 조사방법에 대하여 정리하였다. 이 조사 방법은 대상구조물의 종류나 진단 등급에 따라서 선택적으로 사용되어야 할 사항이다. 다양한 비파괴 조사방법이 개발되어 사용 되고 있지만 본 연구의 대상으로 삼고 있는 대부분의 농업 구조물에 대한 진단에서는 기본적으로 코어 채취에 의한 강도 산정과 중성화 깊이 측정, 균열 깊이의 측정 법 외에 슈미트 햄머를 이용한 다양한 지점의 강도추정결과면 진단의 목적을 달성 할 수 있다.

본 장에서는 일반구조물에서 사용된 점검방법중에서 필수적인 것만 취하여 농업구조물에 적합한 구조물별, 조사내용 표기방법, 부위별 상세한 결함 및 결함의 고유번호, 점수체계와 이를 이용한 내구성 판정 Rule을 개발하였다. 특히 교량을 다른 구조물의 결함을 대부분 포함하고 있으므로 교량의 결함을 전체 구조물의 결함에 관한 데이터 베이스로 보고 이를 심도있게 설명하고 다른 구조물(수로교, 개수로 라이닝, 용벽)의 경우는 교량의 결함 데이터베이스를 활용하여 내구성 및 안전성을 판정하도록 하였다. 구조물 종류별로 부위별, 결함별 코드를 부여하고 그부위나 결함이 구조물 전체의 기능이나 안전성에 미치는 영향을 고려하여 가중치를 배정하여 부위별 구조물별 상태 점수 및 등급을 부여할 수 있는 체계를 완성 하였다. 이를 이용하면 현장 조사 자료의 입력후 구조물에 대한 진단이 완성되고 그결과는 다양한 형태로 정리되어 정책결정과정이나 유지 보수업무에 활용 될 수 있다.이체계를 프로그램화 하면 시스템이 완성되는데 프로그램화 하기전 단계로 가장 단순한 교량 상판의 포장면에 대한 조사내용을 예로 점수 및 판정 과정을 설명 하였으며 프로그램에 대해서는 6장에서 설명한다.

## 제5장 보수·보강공법 DB 및 최적공법 선정

### 제1절 농업구조물의 손상 및 열화 형태

농업 구조물의 손상 및 열화 종류를 파악하기 위하여 농업기반공사 예당지부 관할 농업구조물을 조사하였다. 주 조사 구역은 예당지, 방산지, 덕림지 지역이고 조사한 농업 구조물은 수로교, 농로교 용수로, 배수로, 제방, 여수토, 취수탑, 수로 터널 등이다.

일반적으로 구조물의 손상과 열화 형태는 콘크리트와 구조용강 등의 사용재료에 따라 표 5-1과 같이 나타난다.

표 5-1 구조물 열화 종류

콘크리트 구조물	강 구조물
균열, 골재노출, 철근노출, 철근부식, 박리, 박락, 골재 분리 및 탈락, 누수, 백태, 층분리, 함몰, 마모, 침식, 등	변형, 피로균열, 부식, 국부좌굴, 마모, 도장 분리, 연결부 파손(용접균열, 볼트체결 손괴), 등

그러나 농업 구조물은 농로교의 일부와 배수갑문 외에는 대부분 콘크리트 구조물로 이루어져 있어 농업 구조물의 손상 및 열화 종류로 일반 콘크리트 구조물의 손상 및 열화 형태가 주를 이루었다.

농업용수와 관련된 농업구조물의 특성상 제방과 농로교 이외의 농업구조물의 손상 및 열화는 구조물의 안정보다는 구조물의 기능저하(예: 농업용수의 손실)에 주로 영향을 미치기 때문에 일반 구조물에 비하여 유지관리에 주의를 덜 요하고 또한 대부분 농업 구조물은 일반 토목구조물에 비하여 소규모이면서 길이가 긴 구조물이기 때문에 시공 및 유지 관리에 어려움이 많아서 일반 구조물에 비하여 손상 및 열화 정도가 보다 심각한 상태였다.

그림 5-1 ~ 그림 5-8에는 농업기반공사 예당지부 구역의 대표적인 농업구조물인 수로교, 용수로, 농로교, 배수로, 취수탑, 용수터널, 여수토 등의 손상 및 노후화 정도

가 나타나 있는데 콘크리트 구조물의 전형적인 손상 및 노후화 형태인 균열, 박리, 박락, 골재노출, 누수, 백화, 골재분리, 탈락, 철근노출 및 부식 등이 주된 현상이었다.

조사된 손상 및 열화 형태로는 수로교의 경우에 누수 및 누수에 의한 백화가 주된 현상이었고 골재분리 및 탈락, 철근노출 및 부식 등이 다음으로 많이 발견되었다. 용수로, 배수로 그리고 여수토의 경우에는 균열, 박리, 박락 그리고 누수 현상이 주종을 이루고 백화, 식생, 철근노출 등이 다수 발견되었다. 농로교의 경우에는 균열, 누수, 골재노출, 철근노출 및 부식등이 가장 많이 발견되는 현상이었다. 표 5-2에는 1996년까지의 농업 수리구조물에 대한 안전 진단 조사 결과로 구조물별 손상 및 열화 분포가 나타나있다. 이 표의 결과와 본 연구의 조사결과를 살펴보면 누수 및 콘크리트 균열, 박리, 박락 등이 농업 수리구조물에 가장 흔하게 나타나는 손상 및 열화 현상임을 알 수 있다.

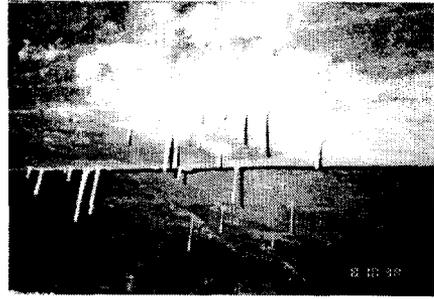
표 5-2 콘크리트 농업 수리구조물의 공종별 하자원인 분포율

구조물	공종	총 하자 건수	공종별 총 하자건수에 대한 하자원인 백분율												
			㉑	㉒	㉓	㉔	㉕	㉖	㉗	㉘	㉙	㉚	㉛	㉜	소 계
저수지	제당	121	33	17	30	7	12	1	-	-	-	-	-	-	100
	여방	189	14	2	1	-	-	4	36	31	4	5	2	1	100
	취수 시설	141	43	-	-	-	1	-	7	6	7	5	1	30	100
방조제	방조 제	17	41	6	23	6	24	-	-	-	-	-	-	-	100
	배수 갑문	23	9	-	-	-	-	9	26	22	4	22	-	8	100
양수장	토목 건축	45	27	-	-	-	-	-	40	11	4	11	7	-	100

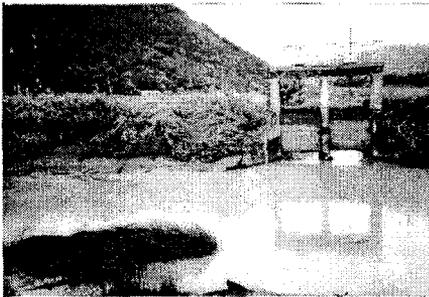
주 : ㉑누수, ㉒식생, ㉓여유고 부족, ㉔활동, ㉕침하, ㉖홍수배제능력부족, ㉗콘크리트균열, ㉘콘크리트박리, ㉙백화, ㉚성능저하, ㉛과 변형, ㉜철근 부식



a. 수로교 균열, 골재노출



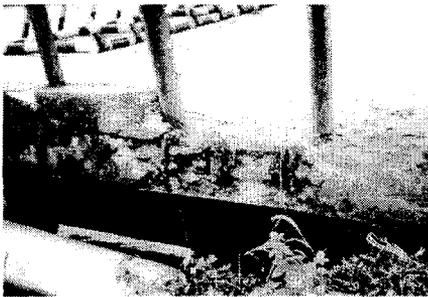
b. 수로교 백화



c. 용수로 박락, 골재노출



d. 개거 층분리

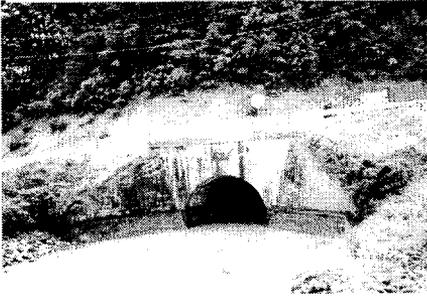


e. 교량 철근노출, 골재노출

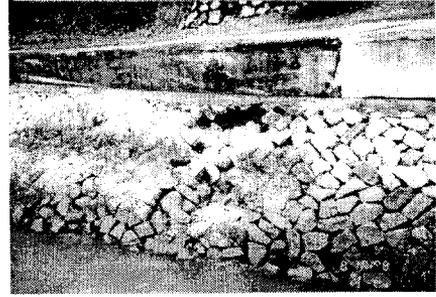


f. 취수탑 골재노출

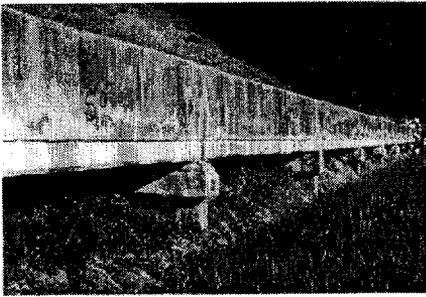
그림 5-1 농수로 구조물 손상 및 열화 종류(1)



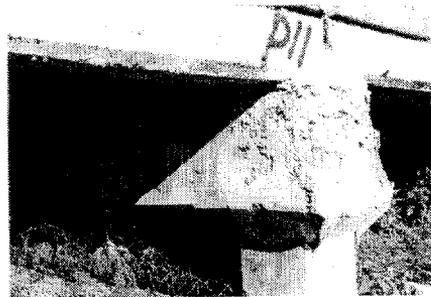
a. 용수터널 백태



b. 호안 돌붙임 유실



c. 바닥 슬래브와 측벽 이어치기  
부분에서의 백화

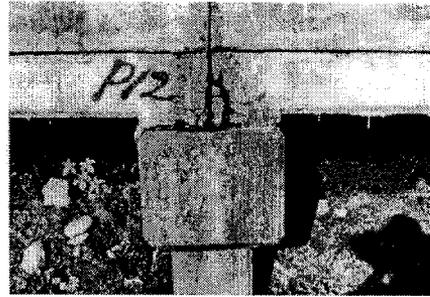


d. 교각 손상

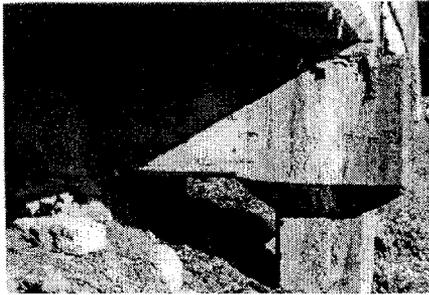
그림 5-2 농수로 구조물의 손상 및 열화 종류(2)



a. 슬래브와 측벽 이어치기  
부분에서의 누수 및 백화



b. 슬래브 조인트부의 누수



c. 슬래브 조인트부의 누수로  
인한 교각의 변색



d. 골재 탈락 및 백화

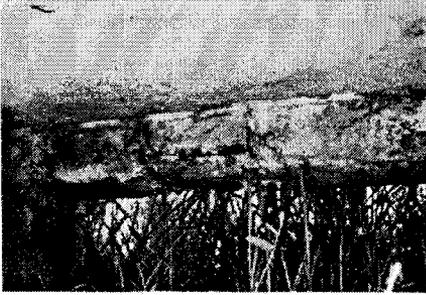


e. 백화로 인한 코트름 생성



f. 슬래브 하부면의 골재 탈락  
으로 인한 철근 부식

그림 5-3 농수로 구조물의 손상 및 열화 종류(3)



a. 슬래브 하부면의 골재 탈락으로 인한 철근 부식 및 백화



b. 백화로 인한 탄산화층 형성



c. 백화로 인한 고드름 생성



d. 슬래브와 측벽 이어치기 부위의 누수(1)



e. 슬래브와 측벽 이어치기 부위의 누수(2)

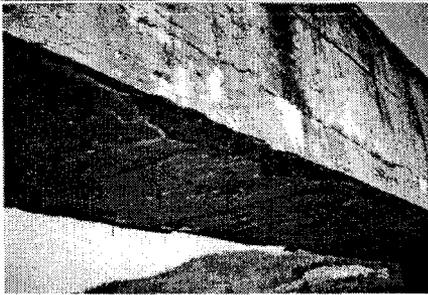
그림 5-4 농수로 구조물의 손상 및 열화 종류(4)



a. 슬래브 신축 이음부의 누수



b. 슬래브 손상(백화, 박락, 골재 탈락 등) (1)



c. 슬래브 손상(백화, 박락, 골재탈락 등) (2)



d. 슬래브 손상(백화, 박락, 골재탈락 등) (3)

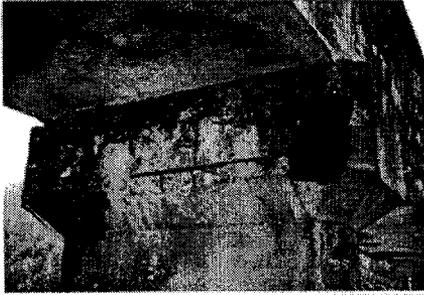


e. 기둥 손상(누수, 백화, 골재탈락, 철근노출 등) (1)

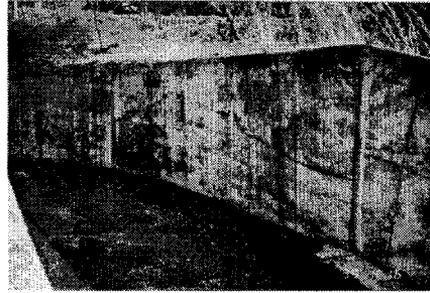


f. 기둥 손상(누수, 백화, 골재탈락, 철근노출 등) (2)

그림 5-5 농수로 구조물의 손상 및 열화 종류(5)



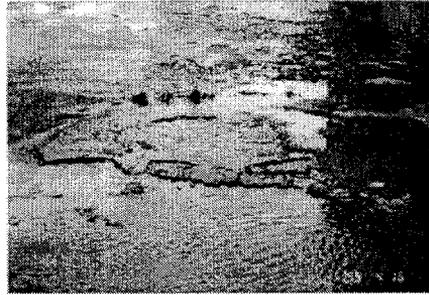
a. 교각 손상(누수, 백화, 골재탈락, 철근노출 등)(3)



b. 옹벽 손상(균열 및 백화)



c. 옹벽 손상 (균열 및 백화)

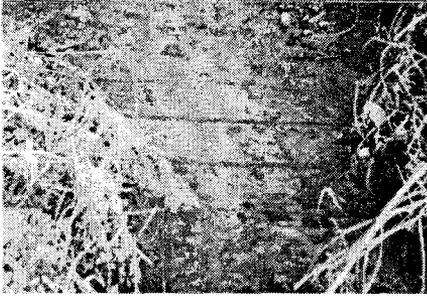


d. 바닥판 손상 (1)  
(탈락, 들뜸, 철근노출 등)

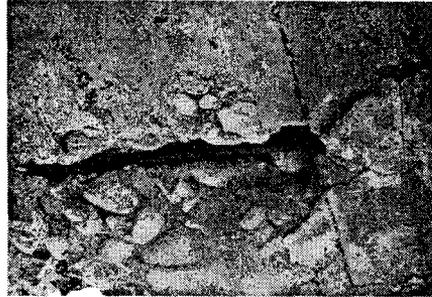


e. 바닥판 손상 (2) (탈락, 들뜸, 철근노출 등)

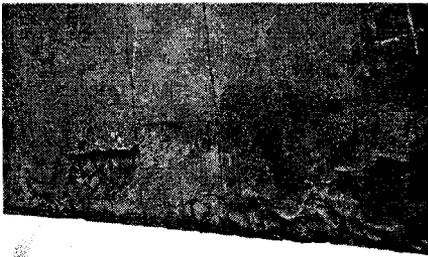
그림 5-6 농수로 구조물의 손상 및 열화 종류(6)



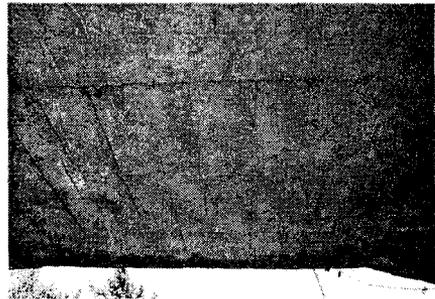
a. 바닥판 손상 (3)  
(탈락, 들뜸, 철근노출, 등)



b. 농로교 상판 하부 철근 노출

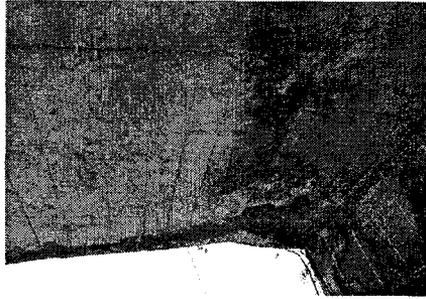


c. 상판 하부 골재 탈락 및 분리



d. 슬래브 하부 누수 (1)

그림 5-7 농수로 구조물의 손상 및 열화 종류(7)



a. 슬래브 하부 누수 (2)



b. 배수로 바닥판 손상 및 측벽 골재분리, 박리, 박락

그림 5-8 농수로 구조물의 손상 및 열화 종류(8)

## 제2절 농업 구조물의 손상 및 열화 원인 분석

### 1. 서론

농업 구조물은 항상 물의 물리적 작용을 받는 환경에 놓여 있고 일사, 풍우, 온도 등의 자연 열화환경에 노출되어 있기 때문에 일반 구조물에 비하여 좀 더 가혹한 환경에 놓여 있고, 취성적인 특성을 갖는 콘크리트를 연속적으로 구축한 길이가 긴 구조물이기 때문에 균열 등의 열화가 발생할 가능성이 높다고 할 수 있다.

또한 시공시의 상황을 살펴보면, 비관개기인 농한기에 축조하여야 한다는 계절적인 제한에 의해 동절기에 시공하는 경우가 대부분이나, 구축하여야 할 면적이 넓어 한중콘크리트 시공을 하기에는 많은 예산이 소요되므로 특별한 조치 없이 시공되는 경우가 많다. 그러므로 시공 초기에 동해를 입을 가능성을 배제 할 수 없으며, 동해에 의한 피해가 최소화되더라도 지속적인 강도 발현에는 많은 문제점을 가질 것으로 판단된다.

농업용수와 관련된 농업구조물의 특성상 제방과 농로교 이외의 농업구조물의 손상 및 열화는 구조물의 안정보다는 구조물의 기능저하(예: 농업용수의 손실)에 주로 영향을 미치기 때문에 일반 구조물에 비하여 유지관리에 주의를 덜 요하고 또한 초기투자비를 최소화하기 위하여 설계기준강도가 낮은 콘크리트를 주로 사용하여 짧은 공사기간에 시공하였기 때문에 일반 토목 구조물에 비하여 손상 및 열화 정도가 보다 심각한 상태였다.

농업 구조물은 농로교의 일부와 배수갑문과 양수시설 외에는 대부분 콘크리트 구조물로 이루어져 있어 농업 수리구조물의 손상 및 열화 종류로 일반 콘크리트 구조물의 손상 및 열화 형태가 주를 이루었다. 본 연구에서는 콘크리트 농업 수리구조물의 손상 및 열화에 대한 원인 분석에 주안점을 두고 조사하였다. 기존자료 분석을 통하여 콘크리트 구조물의 열화 원인에 대하여 조사하였고 또한 실내외 실험을 통하여 콘크리트 농업 수리구조물의 손상 및 열화의 원인에 대하여 보다 상세히 조사하였다.

### 2. 손상 및 열화 메카니즘

콘크리트의 손상 및 열화 현상으로 골재분열, 탈락, 균열, 누수, 마모, 변형, 침

하 등이 있는데 효과적인 보수 대책을 수립하기 위해서는 이러한 현상들에 대한 원인을 파악할 필요가 있다. 다양한 요소가 콘크리트의 손상 및 열화에 영향을 주는데 이 요소들은 설계, 재료, 시공, 사용하중, 사용조건, 노출조건 등이다. 그림 5-9에는 이러한 요인과 열화 및 손상과의 상관관계가 나타나 있다. 대부분의 손상 및 열화 현상은 이러한 요소들의 조합으로 인하여 발생한다. 이 요소들을 세분하면 결합 원인으로 설계, 재료, 시공이 있고, 손상 원인으로 하중, 유해 화학물질, 지진, 화재 등의 요소가 있다. 열화 원인으로서는 동결융해, 침식, 철의 부식, 알칼리 골재반응, 황산 침해등이 있다. 그림 5-10과 5-11에는 교량 콘크리트 상판의 균열 및 박리 등과 같은 현상과 결합 및 손상 요소와의 상관관계가 나타나 있다. 표 5-3에는 일반구조물과 다른 노출조건하에 있는 지중구조물인 터널에 대한 성능 저하 현상과 손상요인과의 상관관계가 나타나 있다.

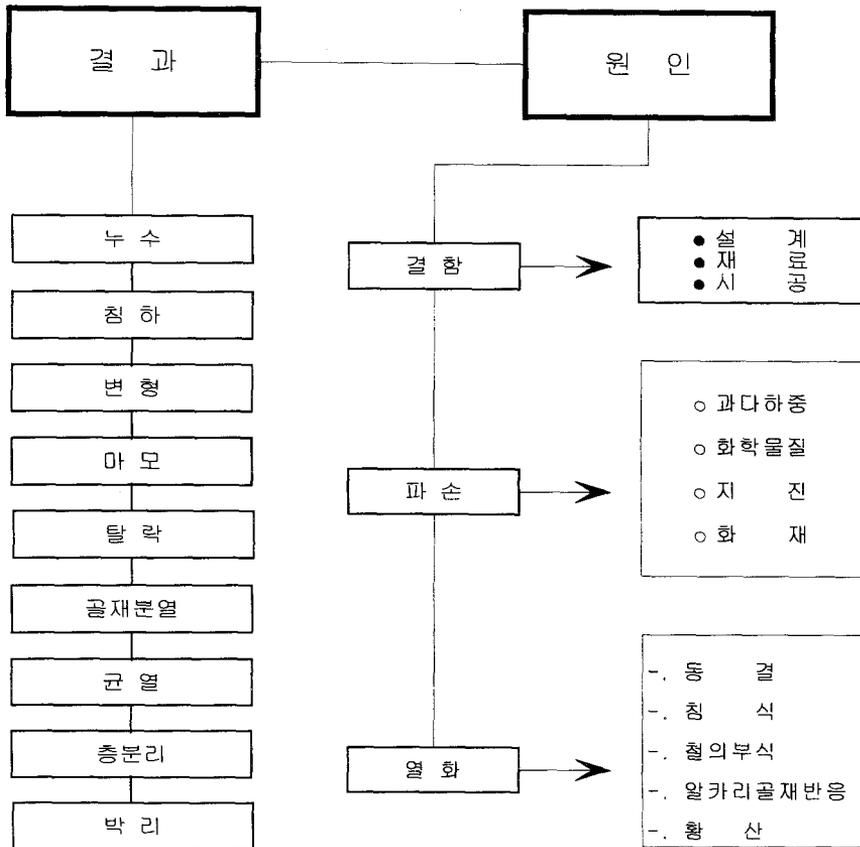


그림 5-9 손상 및 열화와 원인의 상관도

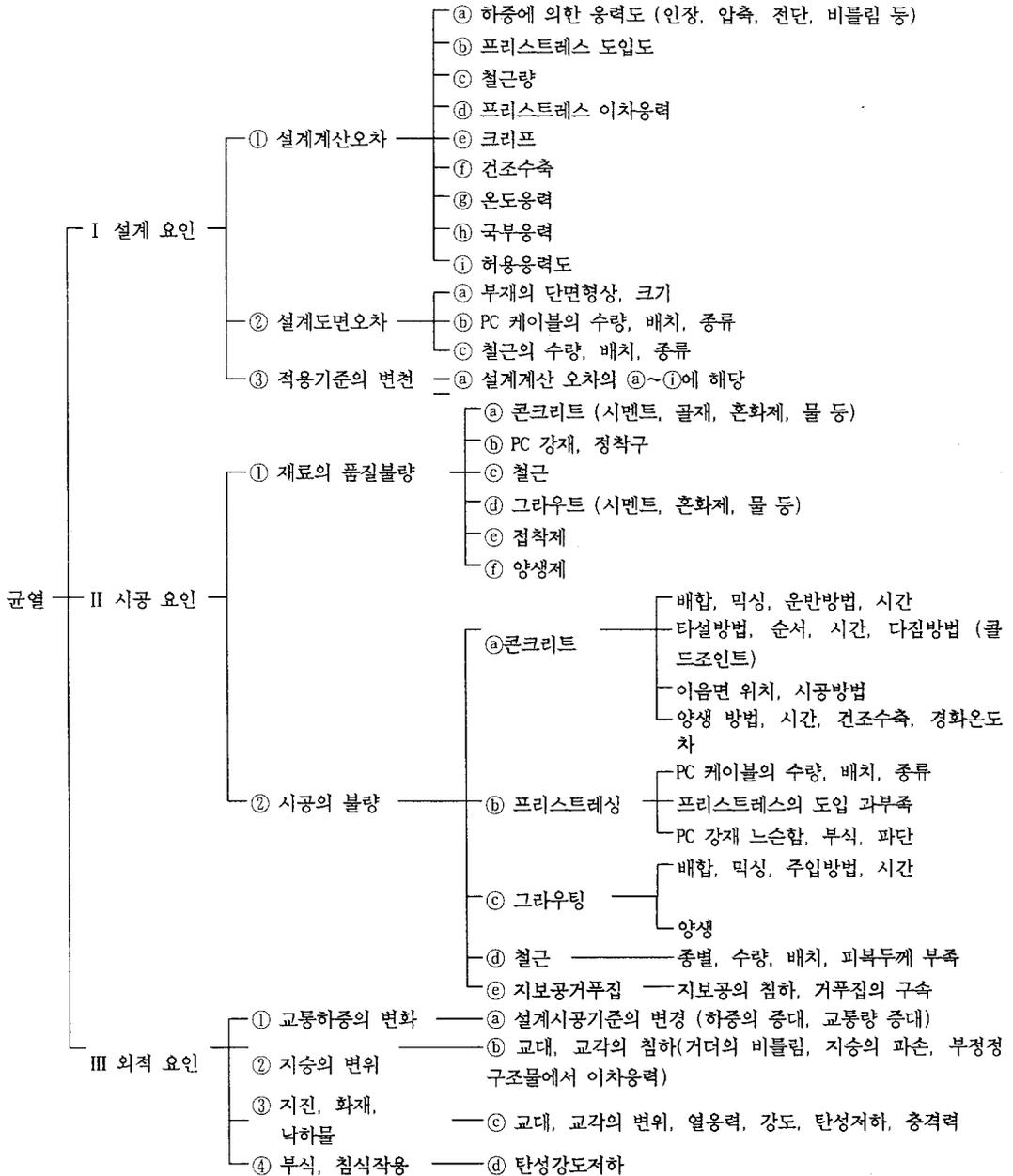


그림 5-10 콘크리트 상판의 균열에 대한 요인

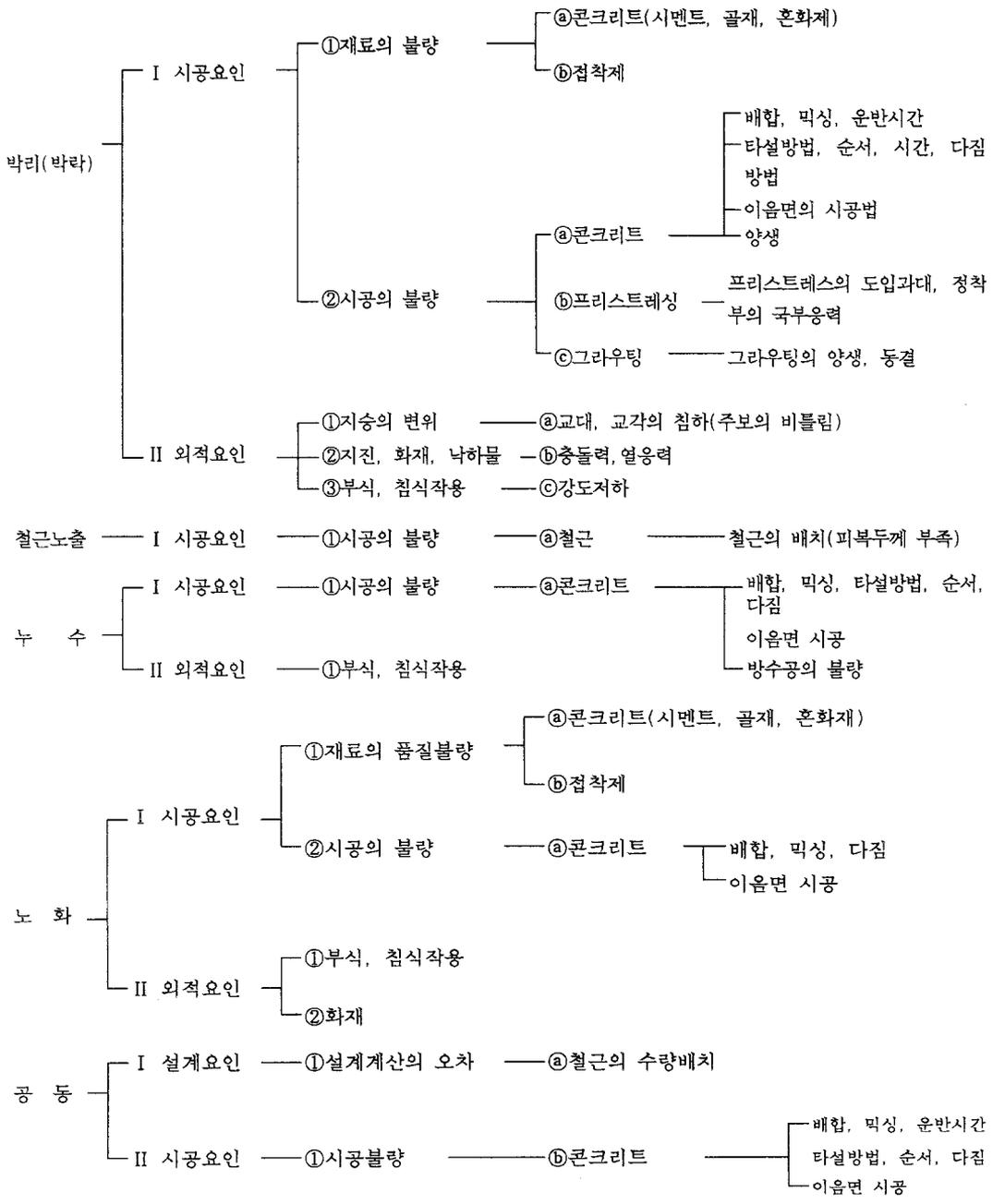


그림 5-11 콘크리트 상판의 기타손상에 대한 요인

표 5-3 터널 성능 저하 현상과 요인

역학적 거동과 원인		자연적 요인				인위적 요인					
역학적 거동	원인	특수형	특수질	저온	기타	설계불량	천공공극	복공불량	배수불량	시공불량	기타
		하중 증가	토압증대	이완토압, 소성압	◎				◎		
철리등	◎						◎				
편토압, 사면활동등	◎			○		○					
수압증대	수원지 인접										◎
	지하수 차단, 배수 불량			○		○			◎		
	지표수 유입					○			○	○	
동상압	복공압력			○	◎						
기타	제하, 근접시공										◎
	지진				◎	○					
지반 지내력 저하	지반이완	균열확대, 고결도 저하	◎			◎		○	◎		
	습윤	흡수, 팽창	◎			○		○			
	간극수압	전단강도 저하	○					◎			
복공지내력저하	구조열화	균열, 박리, 단면변형					◎	◎	○		
		침하, 이동, 경사	○	◎		○			○		
	재료열화	중성화				○					
		저온, 습윤			◎				◎		
		배합불량								◎	
	기타	지진				◎					
화재, 교통사고										◎	

※ ◎ : 주요원인, ○ : 원인

국내 농업 수리구조물의 하자원인을 살펴보면 콘크리트 구조물의 경우 균열, 박리, 누수, 백화현상이 두드러지게 나타난다. 이러한 현상은 전술한 바와 같이 기본적으로는 크게 2가지 원인에 의해서 나타나는데 첫째는 설계기준강도가 낮은 콘크리트, 즉, 내부 공극이 많은 저 품질의 콘크리트를 설계 및 시공한 결과로서 나타난 것이며, 둘째는 구조물의 공사여건(접근성, 공사기간, 품질관리 효율성)이 매우 열악한 상태에서 시공한 관계로 품질의 균질성이 떨어지기 때문이다.

이들을 종합하면 콘크리트 농업 수리구조물 내부의 철근을 부식시키는 원인으로서는 ①중성화 ②철근부식 ③균열 ④누수 ⑤강도저하 ⑥과다 변형 ⑦동해 ⑧표면손상을 들 수 있다. 이들 8종류의 성능저하 현상간 상호관계를 그림 5-12와 같이 표시할 수 있으며, 8대 성능저하 현상 중에서 중성화와 강도저하, 동해는 철근부식, 누수, 과다 변형 및 표면성능저하 등을 유발시키는 요인이 된다.

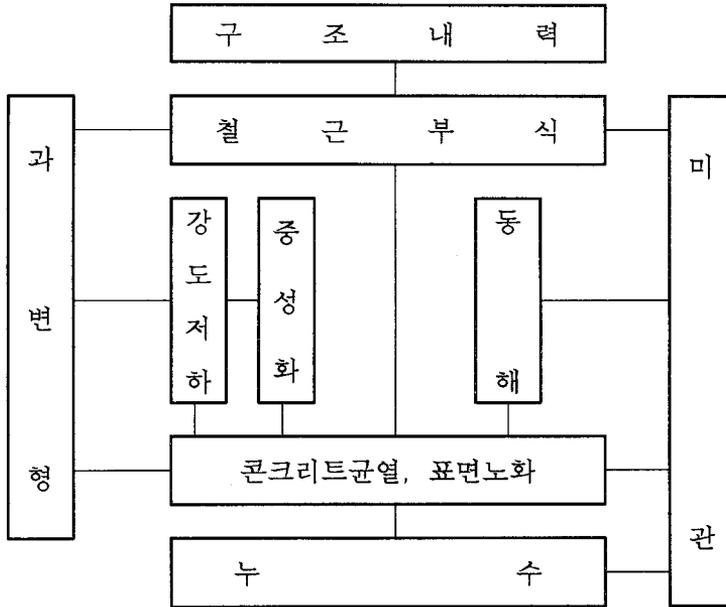


그림 5-12 8대 성능저하원인의 상호관계

그림 5-13는 성능저하 현상의 전이관계를 나타내고 있다. 이들 성능저하 현상의 상호관계에 관해서 살펴보면, 철근콘크리트 구조물의 성능저하 현상은 대부분이 균열로부터 시작되므로 균열을 발생시키는 원인에 따라서 손상원인이 구분되고 있다. 표 5-4에는 균열의 원인과 특성이 그림 5-9의 결함, 손상 및 열화 요소에 따라 분류되어 정리되어 있다.

콘크리트는 압축에는 강하지만 인장에는 취약하므로 인장에 강한 철근으로 보강하게 되므로 콘크리트 구조물의 성능저하는 콘크리트 자신의 성능저하와 철근의 부식으로 나누어 고려할 수 있다.

콘크리트 자체의 성능저하는 강도저하, 건조수축, 온도변화, 동결융해 작용의 반복, 알칼리 골재반응 등의 각종의 요인에 의한 균열 및 표면손상이 있고, 철근부식의 요인 으로서는 피복두께의 부족, 중성화 및 염화물의 존재에 의한 철근의 손상이 있다. 이들 철근콘크리트 구조물에 생기는 성능저하현상을 분류·정리한 것이 그림 5-14에 나타나 있고 또한 콘크리트의 성능저하와 철근콘크리트 구조물의 성능저하에 미치는 영

향을 분석한 것은 그림 5-15과 같다. 표 5-5에는 철근 부식과 균열 및 박리에 대한 열화원인 과 영향인자 그리고 억제대책이 나타나있다.

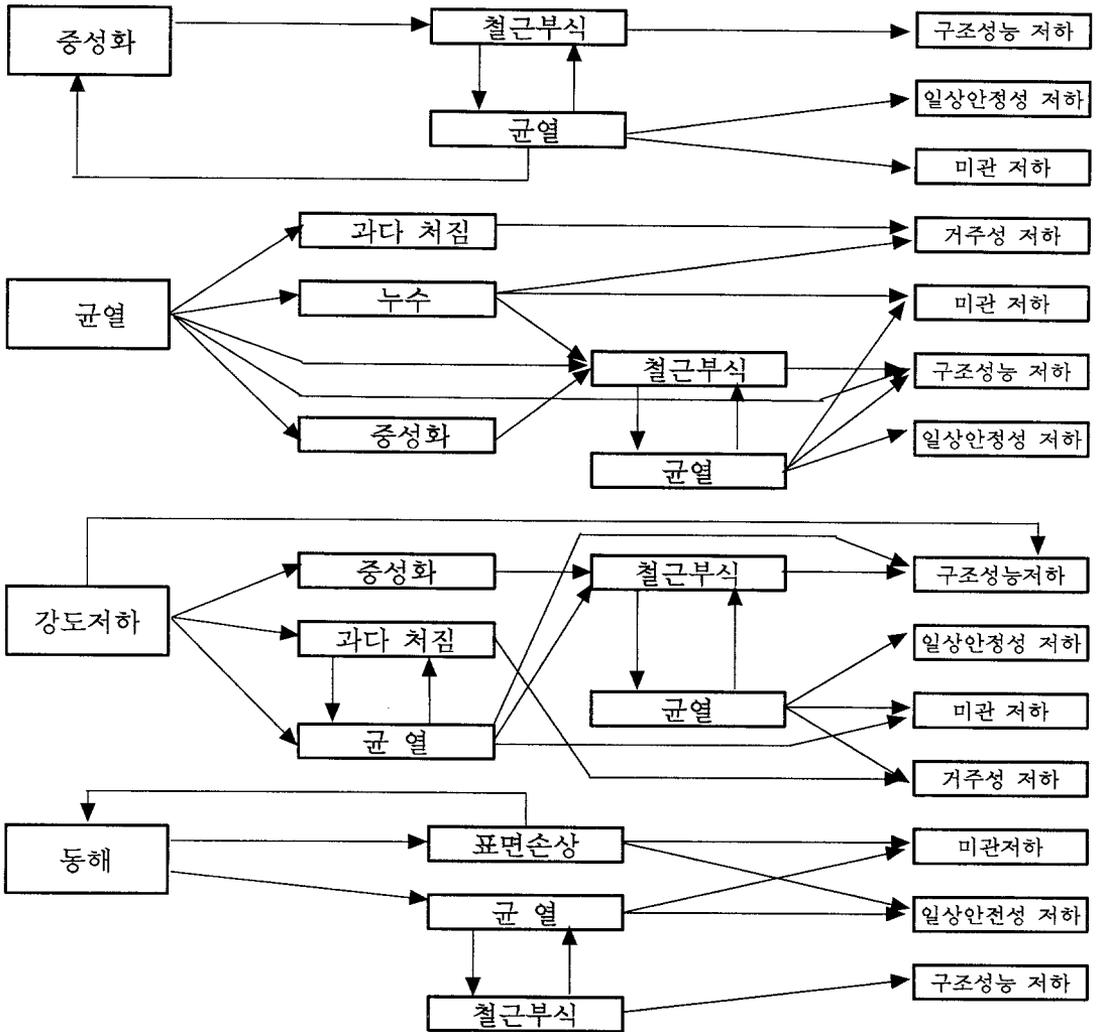


그림 5-13 성능저하현상의 전이

표 5-4 균열의 원인과 특성

균열의 원인		균열의 특성
콘크리트의 재료적 성질에 관계되는 것	시멘트의 이상응결	폭이 크고, 짧은 균열이 비교적 조기에 불규칙적으로 발생
	시멘트의 이상팽창	방사형의 망상 균열
	콘크리트의 침하 및 불리등	타설 후 1~2시간에서 철근의 상부나 벽, 바닥의 경계면 등에 단축적으로 발생
	골재에 포함된 이분	콘크리트 표면의 건조에 의하여 불규칙적으로 망상의 균열 발생
	시멘트의 수화열	단면이 큰 콘크리트에서 1~2주부터 직선상의 균열이 같은 간격으로 규칙적으로 발생, 표면과 부재를 관통하는 것도 있음.
	콘크리트의 경화·수축	2~3개월부터 발생, 점차로 생장
시공상의 결함에 관계되는 것	반응성골재나 팽화암의 사용	콘크리트 내부에서 폭열상으로 발생, 다습한 장소에 많음
	장시간의 묵싱	전면에 망상 균열이나 길이가 짧은 불규칙한 균열
	배근의 혼란, 철근의 피복두께 감소	바닥슬래브에서는 주변에 따라서 원호상 또는 철근의 표면에 연하여 발생
	불균일한 타설	각종 균열의 시작이 되기 쉬움
	거푸집의 편형	거푸집이 움직인 방향으로 부분적으로 발생
	이음면 처리의 불량	콘크리트의 이음면이나 콜드조인트 부분 균열
	경화전의 진동, 적재	(외력에 의한 균열과 동일)
	초기양생의 불량	급격한 건조 초기동결
사용·환경 조건에 관계되는 것	지보공의 침하	단부중앙 및 중앙부 하단에 발생
	환경온도·습도의 변화	발생된 균열은 온도·습도 변화에 따라 변화
	부재양면의 온도·습도차	저온측 또는 저습측의 표면에, 횡방향과 직각으로 발생
	동결·융해의 반복	표면이 스케일링을 일으켜 곰보형상을 나타냄
	화재·표면가열	표면 전체에 거북등 모양의 미세균열을 나타냄
	내부철근의 녹에 의한 팽창	철근에 연하여 큰 균열발생, 피복콘크리트가 탈락하고 녹이 유출
구조·외력 등에 관계되는 것	산·염류의 화학작용	콘크리트 표면의 침식, 팽창성 물질이 형성되어 전면에 발생
	과하중(휨)	인장측에 수직으로 균열 발생
	(지진·적재하중)(전단)	주부재에 45도 방향으로 균열 발생
	단면·철근량 부족	휨·전단과 동일
구조물의 부동침하	45도 방향으로 큰 균열 발생	

<성능저하현상> <성능저하원인>

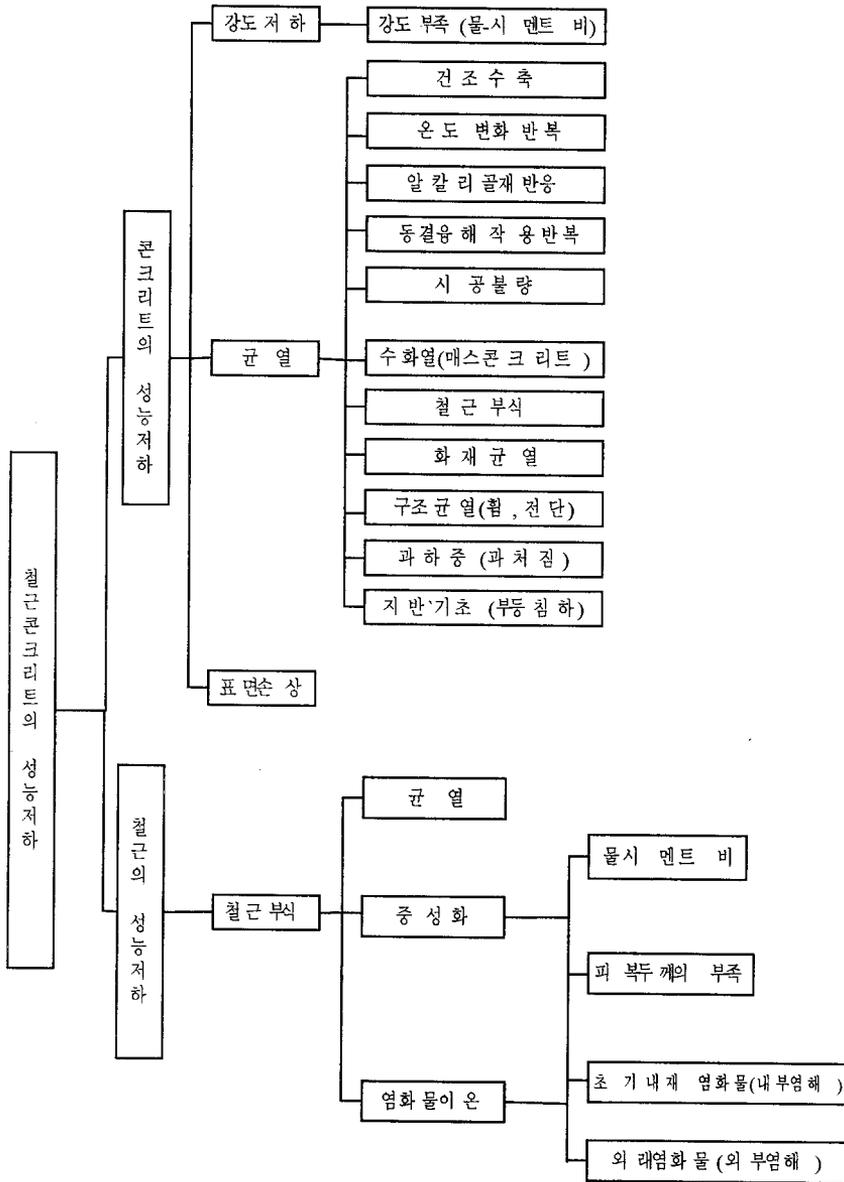


그림 5-14 콘크리트 수리구조물의 성능저하현상 분류

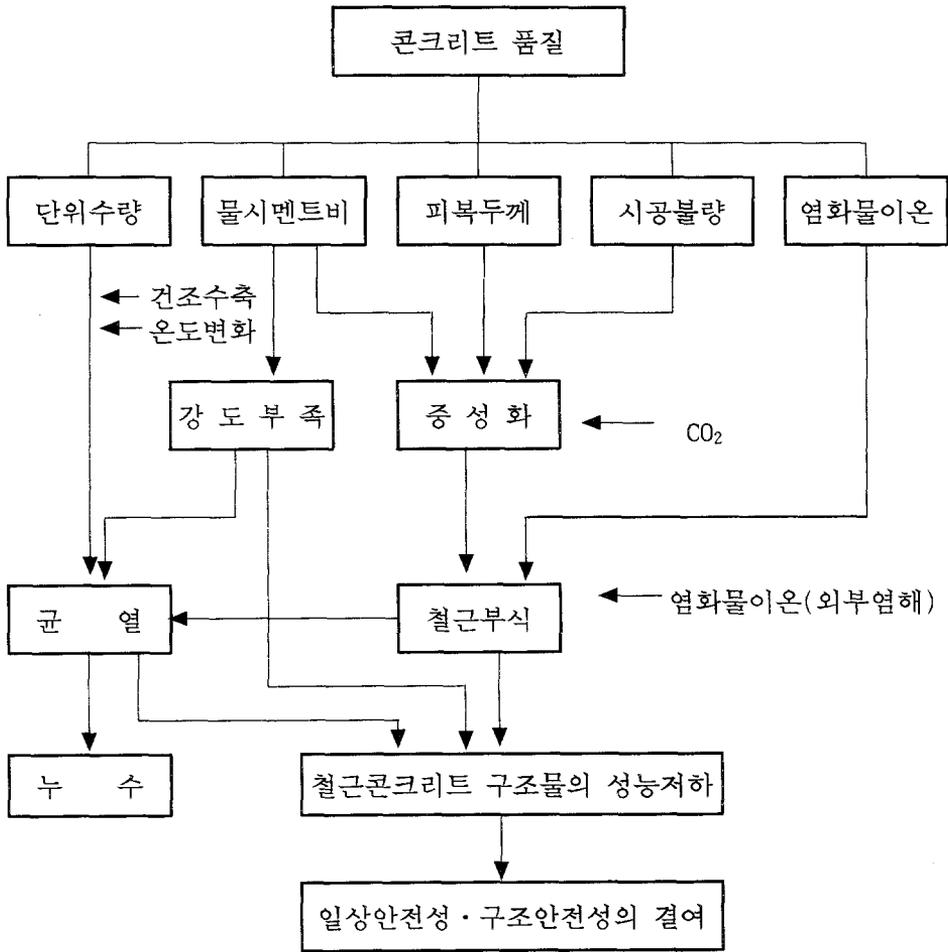


그림 5-15 콘크리트와 철근의 성능저하현상의 상관성

표 5-5 열화현상별 원인과 영향인자 및 대책

열화현상	열화원인	구분	영향인자	억제대책
철근부식	염해	내적요인	콘크리트 내부 허용 $Cl^-$ 량 초과	해사 세척에 의한 $Cl^-$ 제거
		외적요인	제설제살포 또는 해안환경에 의한 염화물 침입	표면을 기밀성 도료로 도장
	중성화	내적요인	콘크리트의 W/C, 공극이 큼	적정의 W/C 선정
		외적요인	대기의 $CO_2$ 농도증가, 탄산화가 철근 깊이까지 도달	기밀성 도료로 표면도장
균열박리	알칼리 골재반응	내적요인	알칼리 반응성 골재를 사용할때 시멘트중 $K_2O$ 가 다량있음	반응성 골재의 사용제한 저알칼리성 시멘트를 사용
		외적요인	콘크리트 습윤상태에 있음	콘크리트를 건조상태로 보존, 수밀성 도장
	건조수축	내적요인	단위수량이 높음	단위수량이 적은 무수축 시멘트 사용
		외적요인	콘크리트의 건조속도가 빠름	초기양생을 충분히 실시

이들 철근콘크리트 구조물에 생기는 성능저하현상의 상호관계, 성능저하 현상의 진전을 보면, 콘크리트의 결함 그리고 손상 및 열화 현상이 다양한 요소의 조합에 의해서 발생한다고 할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 콘크리트 농업구조물에 생기는 손상 및 열화 현상의 원인을 보다 세밀하게 파악하기 위하여 각 요소별 결함 과 손상 및 열화 메카니즘을 살펴 보고자한다 .

### 가. 열화 메카니즘

#### 1) 철근부식

철근부식의 주요 원인으로서는 염해, 중성화, 공극구조 및 피복두께의 부족이 있을 수 있다.

콘크리트는 보통 pH값이 12.5~13정도의 강알칼리성을 띄고, 이러한 강알칼리성 조건하에서는 철근의 표면에 부동태피막이 형성되어 부식이 진행되지 않는다. 그러나 대기중의 탄산가스, 기타의 산성물질이 조직내의 모관공극 등을 통해 침투함으로써 콘크리트의 알칼리성은 표면부터 서서히 중성으로 전이되고,

철근위치까지 중성화가 진행되어 알칼리도가 낮아지면 철근은 부식에 대하여 무방비상태가 된다. 이때 산소와 수분 및 염소이온이 공급되면 부동태피막이 파괴되어 녹이 생긴다. 철근의 부식이 어느 정도 진행되면 녹은 부피팽창을 일으키므로 팽창압에 의해 피복 콘크리트에 균열, 박리 등이 발생하게 된다.

한편 콘크리트 중에 염화물 이온이 어느 정도 이상 존재하면 콘크리트가 중성화되지 않더라도 철근은 부식한다. 이 경우 피복두께가 작고 피복콘크리트의 품질이 나쁘면 부식의 진행이 빠르며, 염화물량이 많을수록 부식의 진행이 빠르게 된다. 더욱이 철근의 위치까지 콘크리트가 중성화되어 있는 경우 부식이 더욱 촉진된다.

콘크리트 중의 철근부식을 촉진하는 요인으로서, 염화물 이외에 균열, 산소 등의 존재나 피복두께의 부족을 들 수 있다. 이러한 곳에서는 통기성이 크고 중성화가 빠르므로 수분 또는 산소의 공급을 받기 쉽다. 또한 그곳에 성능저하물이 있으면 부식은 중성화만에 의한 부식속도보다 빠르게 진행한다.

또한 블리딩의 영향도 고려해야하는데 물-시멘트비가 높을 경우 블리딩에 의한 배출수가 표면으로 이동하다가 굽은-골재의 아래 면에 커다란 공극을 형성하게 되며, 수화반응에 사용되고 남은 물이 콘크리트 조직내부에 고여 있다가 시간이 지남에 따라 건조되어 내부에 커다란 공극을 형성하게 한다. 또한 콘크리트 조직 내부에 많은 모관공극을 형성함으로써 철근의 부식이 가속적으로 진행되는 경우가 많다. 이러한 철근 부식의 열화 메카니즘이 그림 5-16 ~ 5-23에 상세히 설명되어 있다.

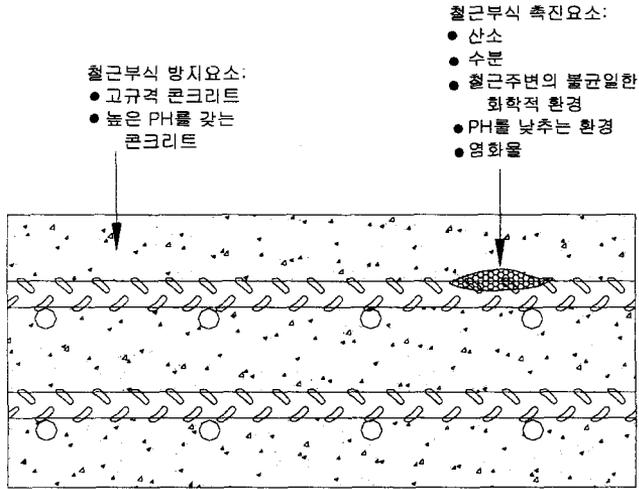


그림 5-16 콘크리트 내부 철근 혹은 구조용강의 부식과정

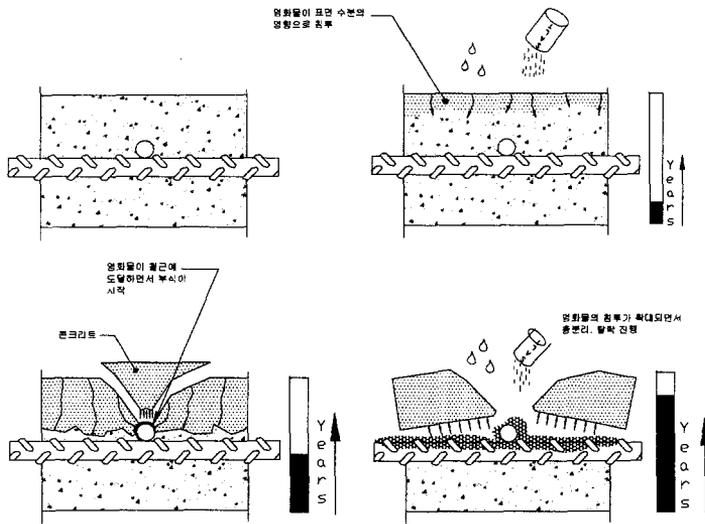


그림 5-17 염화물의 침투

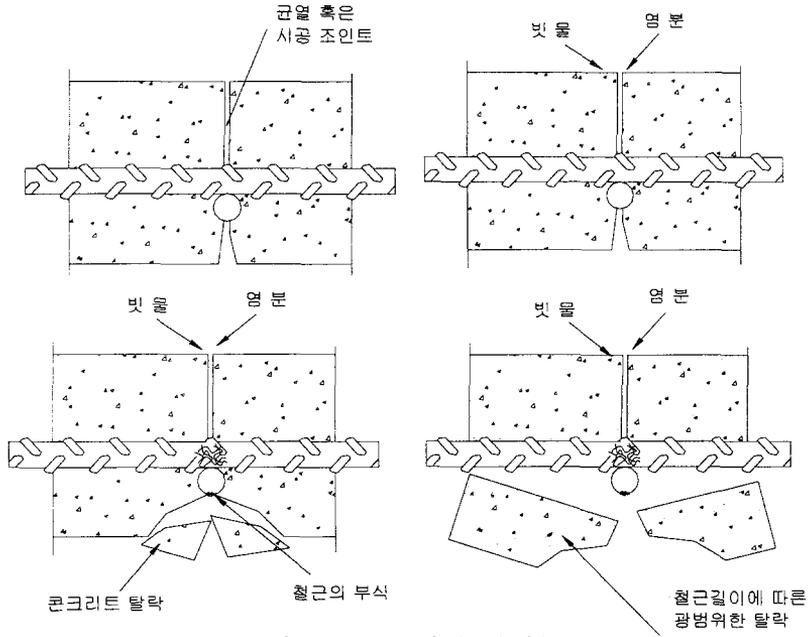
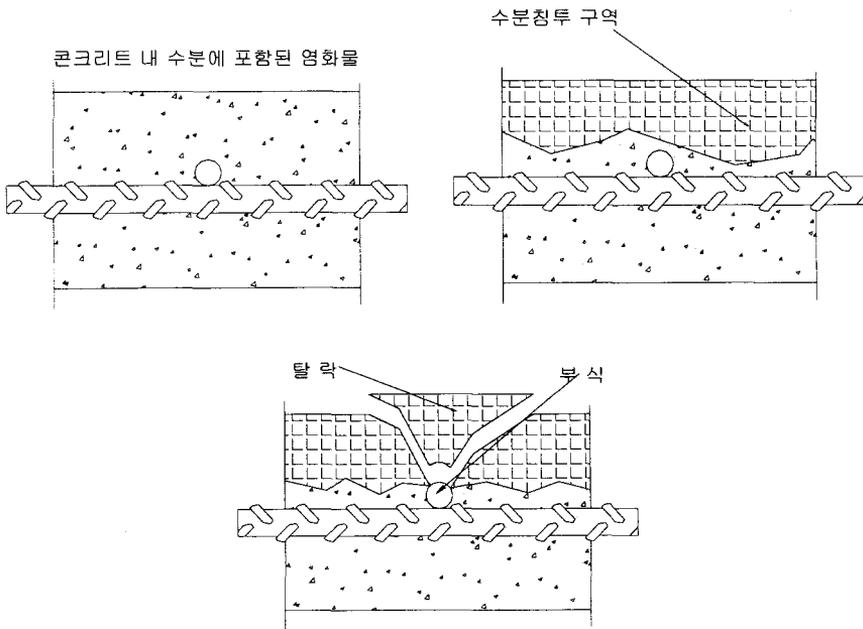


그림 5-18 균열과 염화물



염화물량은 일반적으로 모든 단면에서 같다.

그림 5-19 초기 내재 염화물

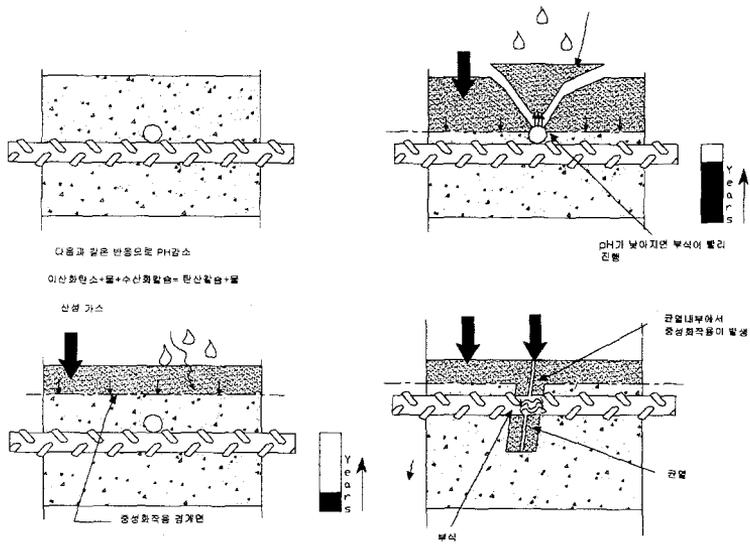


그림 5-20 중성화

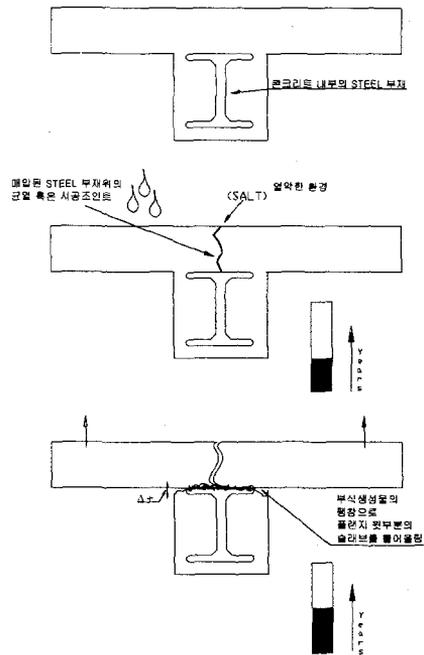


그림 5-21 철구조물의 부식

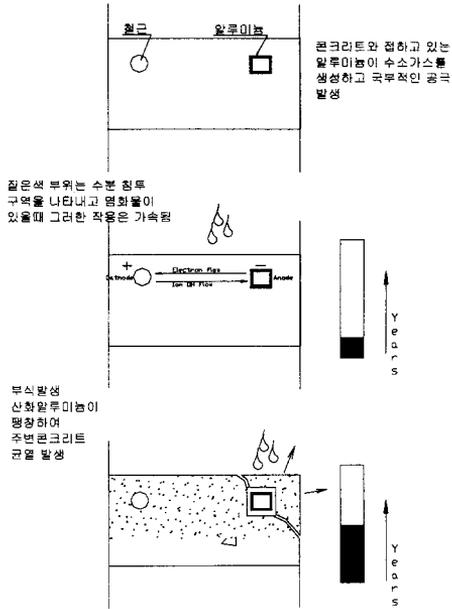


그림 5-22 서로다른 금속의 부식

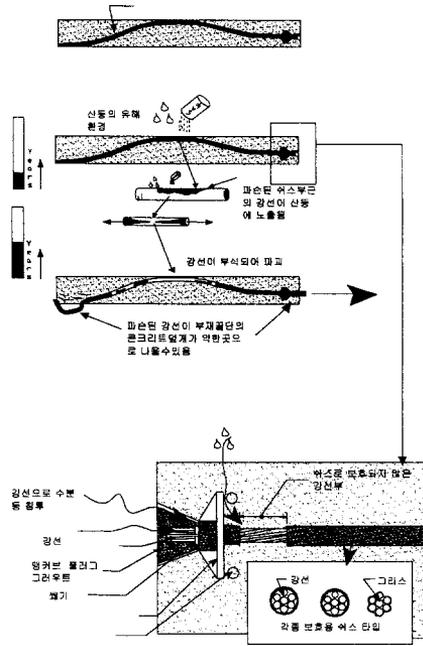


그림 5-23 PS강선의 부식

## 2) 골재 분열 메카니즘

이 메카니즘은 콘크리트 구성물의 분해와 구성물의 체적 변화에 의한 분리 그리고 마모와 공동화에 의한 마멸 현상을 규명하는 체계에 관한 것이다. 이러한 메카니즘에 영향을 주는 요소로는 유해 화학물질, 동결융해, 알칼리골재반응, 황산염 침해, 공동화와 마모에 의한 침식 등이 있다. 물은 골재분열 메카니즘에 가장 취약한 환경을 제공하는 요소인데 콘크리트가 포화상태이면서 동해를 입으면 체적변화로 인한 팽창력으로 인하여 콘크리트가 골재분열을 일으키게 된다. 고형 염분의 팽창 또한 얼음과 유사한 영향을 미친다. 그림 5-24에는 골재분열 메카니즘이 나타나있다.

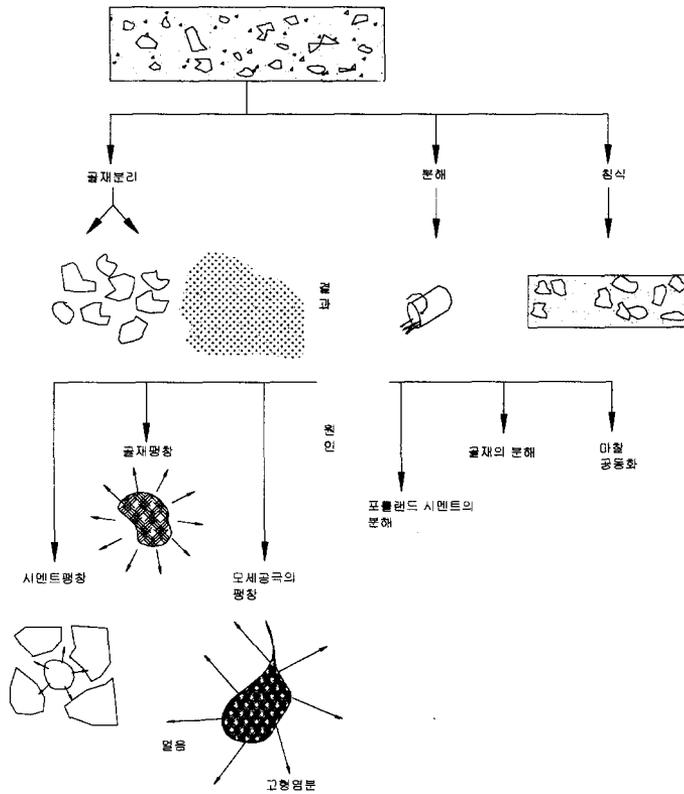


그림 5-24 골재 분열 메카니즘

가) 유해 화학물질에의 노출

유해 화학물질로는 무기 산, 유기 산, 알칼리 용액, 염분 등이 있다. 콘크리트가 산에 노출될 때 산과 시멘트의 칼슘이 반응하고 이 반응은 물에 용해 가능한 칼슘 화합물을 생성하게 된다. 석고나 백운석 골재가 사용될 때 이 화합물이 이들 골재를 용해하게 된다. 이러한 과정이 그림 5-25에 상세히 도시되어 있다.

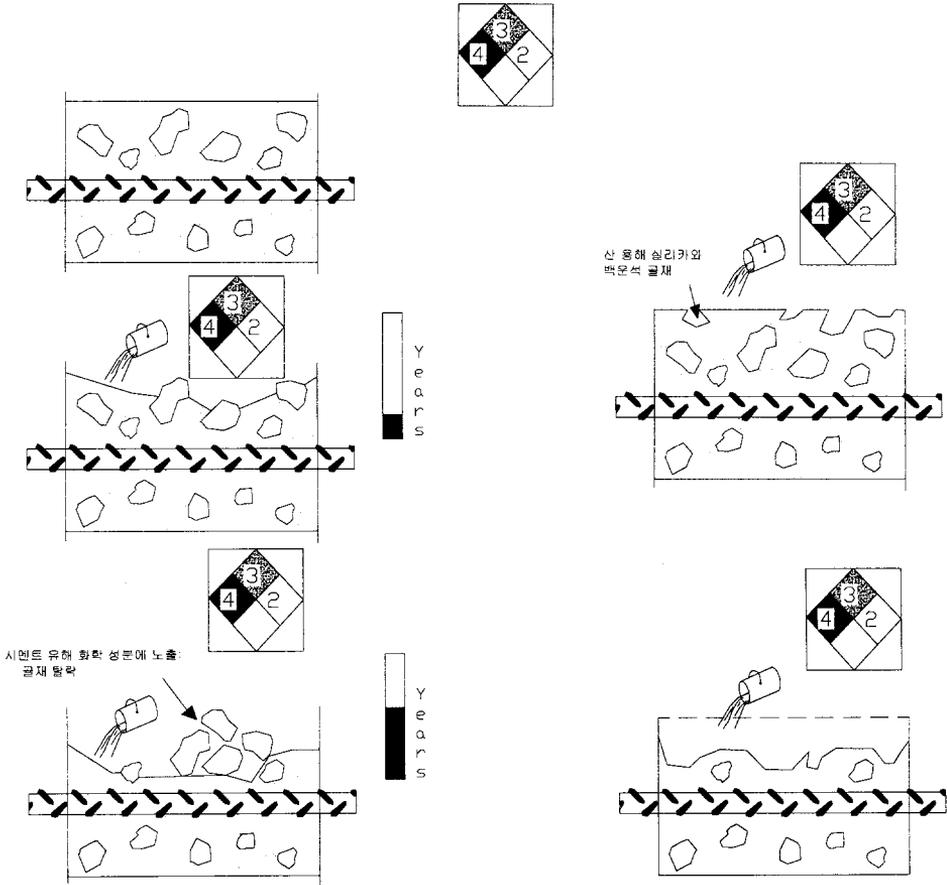


그림 5-25 유해 화학성분에 노출

나) 동결 융해

동결융해 열화는 콘크리트 내부의 공극과 모세관이 물로 채워지고 동결 과용해가 반복적으로 일어나 발생하는 현상이다. 공극속의 물이 동결되어 얼음으로 변할 때 팽창하게 되는데 이러한 팽창은 공극 주변의 콘크리트를 파괴시키는 국부적인 인장력을 야기 시킨다. 동결융해 열화는 표면에서 내부로 진전되면서 작은 조각으로 파괴되어 나타난다. 동결융해 열화율은 공극율, 함수율, 동결융해의 반복 횟수가 증가하면 열화율이 증가하고, 작은 모세관을 갖으며 높은 흡수율을 갖는 골재나 물을 담고있는 표면 또한 열화율을 증가시킨다.

다. 그러나 기포를 포함하는 콘크리트의 경우에는 열화율이 감소된다. 그림 5-26에는 동결융해 메카니즘이 나타나있다.

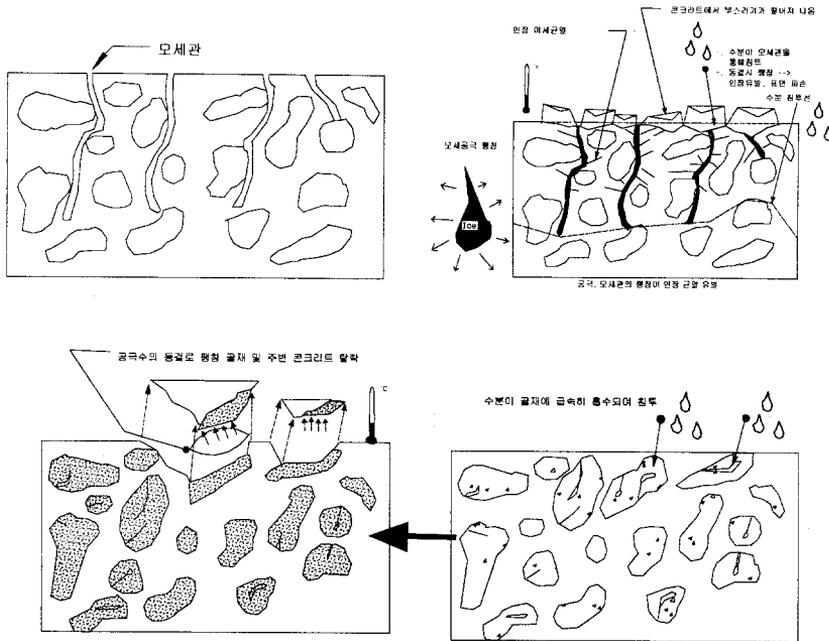


그림 5-26 동결 융해

#### 다) 알칼리 골재반응

알칼리 골재반응은 반응성 실리카를 포함한 골재와 시멘트 등에 포함된  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ 의 알칼리금속이 서로 반응하여 알칼리 규산염을 생성하고, 이것이 팽창하여 콘크리트에 균열, 썩의 유출 등을 생기게 하는 현상이다. 이 반응에 관계되는 광물의 종류에 따라서 알칼리 실리카반응, 알칼리 탄산염반응, 알칼리실리케이트 반응으로 분류하고 있다. 이중 지금까지 많이 알려진 반응으로서는 알칼리실리카 반응이며, 이러한 반응성을 나타내는 광물로서는 오팔, 크리스토포라이트, 토리지마이트, 화산유리, 옥수, 석영 등이며, 이러한 광물을 포함한 암석으로는 휘석, 안산암, 규질암 등이 있다. 그림 5-27에는 알칼리골재반응의 메카니즘이 상세히 나타나있다.

알칼리 골재반응은 일반적으로 ①반응성골재, ②높은 알칼리량, ③충분한 온도의 3개 조건이 갖추어지는 경우 콘크리트에 피해를 발생시키기 때문에 알칼

리골재반응의 억제대책으로서 다음과 같은 대책을 주로 많이 사용한다.

- ① 반응성이 있는 골재를 사용하지 말 것
- ② 콘크리트중의 알칼리량을 감소시킬 것
- ③ 알칼리 골재반응에 대하여 억제효과가 있는 혼합시멘트를 사용할 것

알칼리 골재반응을 억제하기 위한 일반적인 방법에는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 알칼리 골재반응에 관해서 해가 없는 골재를 사용할 것
- ② KSL 5201 「포틀랜드시멘트」에 규정된 저알칼리형의 포틀랜드시멘트를 사용할 것
- ③ KSL5201 「포틀랜드시멘트」에 규정된 통상의 포틀랜드시멘트를 사용하는 경우에 있어서는 전알칼리( $R_{20} = Na_{20} + 0.658K_{20}$ )를 0.6%이하로 할 것
- ④ KSL5201 「고로시멘트」에 규정된 고로시멘트에서 원료시멘트의 알칼리양이 0.80%이하인 고로시멘트를 사용할 경우에는 슬래그 혼합비 40%이상 기타의 경우는 50%이상을 사용하고,
- ⑤ KSL5405 「플라이애시 시멘트」에 규정된 플라이애시 시멘트로서 원료시멘트의 알칼리양이 0.80%이하인 플라이애시 시멘트를 사용할 경우에는 플라이애시 혼합비를 15%이상으로 하고 기타의 경우는 20%이상으로 한다.
- ⑥ 최근의 연구결과에 의하면 KSL5201 「포틀랜드시멘트」를 사용하고 저온(600~700℃)로 완전 소각한 왕겨재를 시멘트 중량의 5~10%를 혼입하면 알칼리-골재반응을 억제시킬 수 있는 것으로 보고되어 있다.

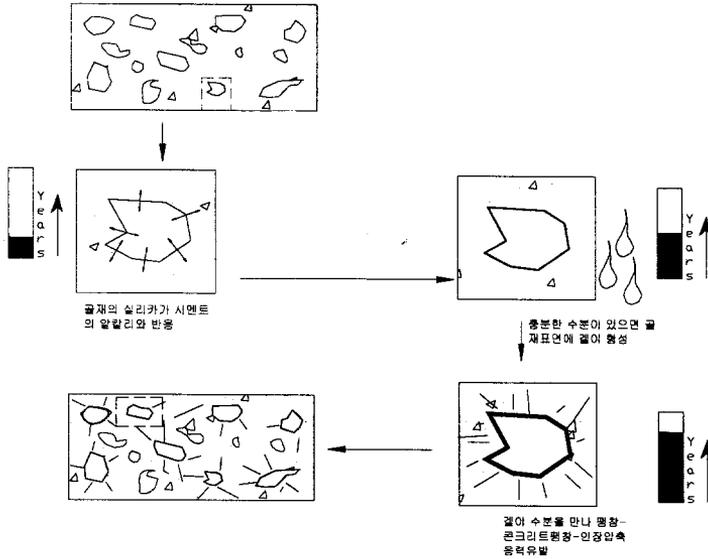


그림 5-27 알카리 - 골재 반응

라) 황산염 침투

용해되는 황산염(주로 소듐, 칼슘, 마그네슘 황산염)은 광산, 화학 및 제지 공장 지역에서 흔하게 발견된다. 소듐과 칼슘 황산염이 물과 흙에서 가장 흔하게 발견되는 황산염이고 마그네슘 황산염은 그보다 많지 않으나 보다 치명적인 유해 물질이다. 이러한 황산염을 포함하고 있는 물과 흙은 알칼리 물과 알칼리 흙으로 불리기도 한다. 모든 황산염은 잠재적으로 콘크리트에 유해하다. 황산염은 시멘트 풀의 수화된 석회와 수화된 칼슘 알루미늄네이트와 화학적으로 반응하여 보다 부피가 큰 고형물질로 변한다. 이러한 고형물질의 형성은 시멘트 풀을 팽창 분열시키고 시멘트 풀에 압력을 가하게 된다. 그 결과로써 박리 및 골재분열 그리고 광범위한 열화 현상이 나타나게 된다. 콘크리트의 황산염에 대한 저항은 물-시멘트 비의 감소와, 적은 양의 트라이칼슘 알루미늄네이트와 적절한 기포를 함유한 적절한 시멘트 계수에 의하여 증대될 수 있다. 또한 적절한 구성 비율을 유지하면 실리카 흙, 플라이 애쉬, 그라운드 슬래그는 일반적으로 반응 요소를 감소시킴으로써 콘크리트의 황산염에 대한 저항능력을 증진시킨다.

황산염에 의한 열화메카니즘은 아래 그림과 같다.



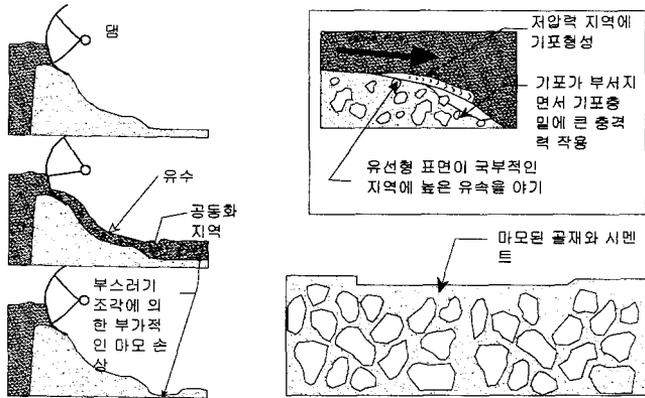


그림 5-29 침식

## 나. 노출 및 사용 환경

### 1) 습기 효과

콘크리트는 방금 자른 나무로 만든 목재와 유사하게 거동을 한다. 바로 타설된 콘크리트는 입자사이의 간격이 물로 채워져 있고 콘크리트가 경화한 후에 여분의 수분은 증발한다. 수분이 증발하면 시멘트 풀의 체적이 감소하고 따라서 수축 응력과 수축 균열이 발생하게 된다. 그리고 콘크리트도 나무와 같이 주변의 습도 변화에 반응하여 체적 변화를 일으킨다.

### 가) 건조 수축

콘크리트는 대기상에 노출되면 수분이 증발하여 수축하게 된다. 보통 콘크리트는  $400 \sim 800 \times 10^{-6}$  의 변형률 만큼 수축한다.

그림 5-30에 보이는 것처럼 부재가 구속되지 않은 경우에는 건조수축 응력을 야기시키지 않으며 자유롭게 수축하고 움직임이 구속되는 경우에는 수축응력이 콘크리트의 인장강도를 초과 할 수도 있다. 이러한 초과응력은 건조수축 균열을 야기시키는데 부재내에 철근을 적절히 배치하면, 수축응력과 균열폭을 조절 할 수 있다.

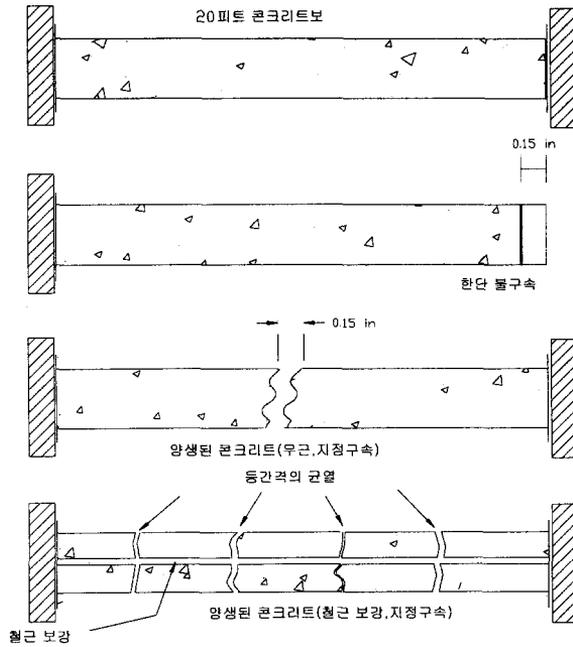


그림 5-30 건조 수축

나) 수증기 이동 경로

부재표면의 상대습도 값이 다를 경우에 수증기는 콘크리트의 내부에서 상대 습도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하며, 수증기의 이동량은 표면사이의 상대습도차와 콘크리트의 투수성에 달려있다. 그림 5-31에는 수증기의 이동경로가 상세히 도시되어 나타나있다.

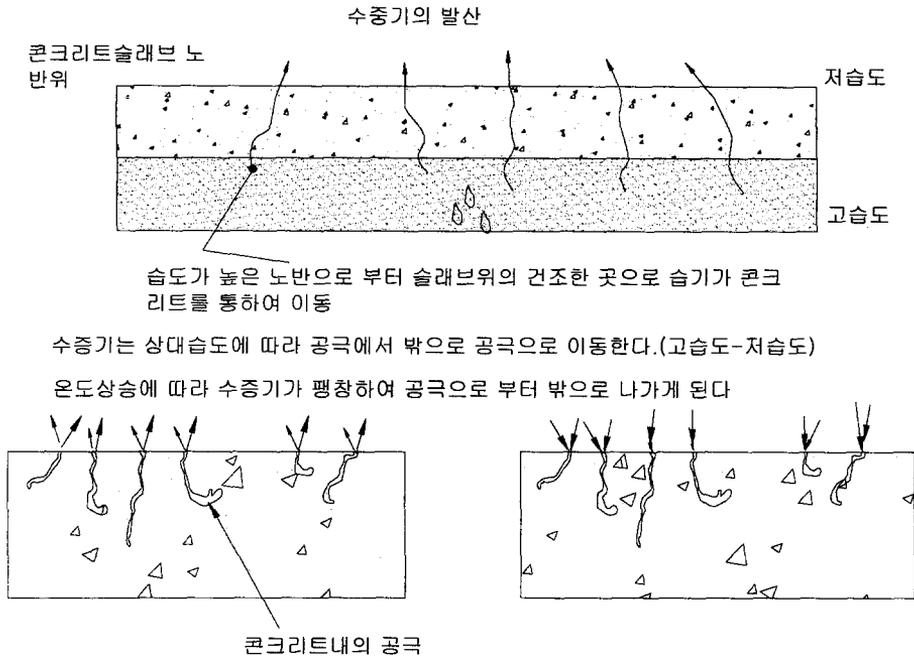


그림 5-31 수증기 이동 경로

#### 다) 체적변화 - 습기 함유

콘크리트는 습기함유율에 따라 길이의 변화를 겪게 되는데, 건조콘크리트가 습기를 함유하면 팽창하고, 수분을 함유한 콘크리트는 건조 될 때 수축한다. 콘크리트는 계절적인 변화를 겪게되는데, 습기가 많은 여름에는 습기 함유율이 높아지고, 춥고 건조한 겨울에는 함유율이 낮아진다.

습기 함유에 따른 수축이나 팽창량값의 추정은 건조 수축값에 근거하여 산정한다. 건조 수축값은 초기 100% 습기 함유량이 약 50%의 주변 상대습도 값에 부합되는 상태에 근거한 것이다. 그림 5-32에는 습기 함유에 따른 체적 변화가 나타나있다.

#### 라) 말림 (curling)

말림은 슬래브의 두께에 따라서 습기나 온도가 균일하지 않을 때 나타나는 현상이다. 말림은 건조수축 과정이 진행됨에 따라 진전되는데, 대기에 노출된

슬래브 상부는 지반과 접촉상태에 있는 하부에 비하여 상대적으로 더 건조하기 때문에 수축하게 되고 위로 말아 올려 진다. 온도는 습도와 유사한 영향을 슬래브에 미치는데, 상부에 태양열을 받게 되면 하부보다 더 건조해지게 되어 슬래브는 아래 방향으로 말려 진다. 그림 5-33에는 습도에 따른 슬래브의 말림 현상이 나타나 있다.

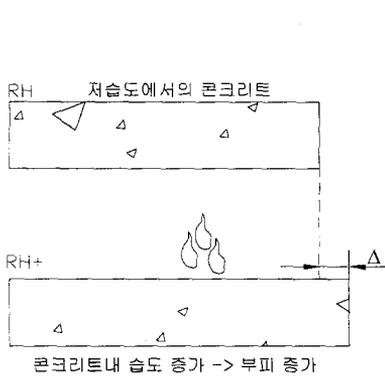


그림 5-32 습도에 따른 체적 변화

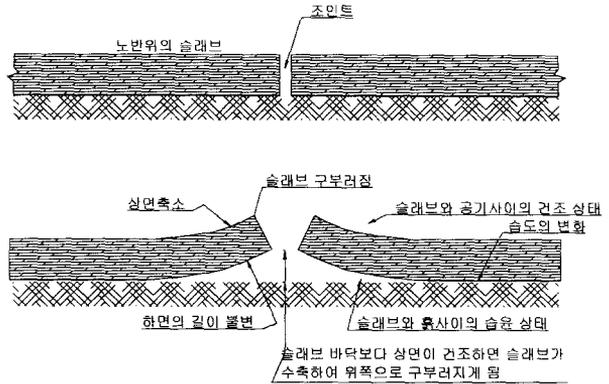


그림 5-33 슬래브 말림

## 2) 온도 효과

온도변화는 콘크리트 구조물과 부재에 체적변화를 야기시킨다. 온도와 체적과의 상관관계는 온도 팽창/수축 계수로 표현된다. 콘크리트가 구속되어 있을 때 체적 변화는 응력을 발생시키고, 이 응력은 균열, 탈락, 과다 변형등을 발생시킨다.

그림 5-34 ~ 그림 5-38에는 온도에 따른 콘크리트의 균열 및 손상 메커니즘이 나타나 있다. 그림 5-34와 그림 5-35는 불균일한 온도하중 효과, 그림 5-36에는 타설 콘크리트의 초기 온도 균열 발생 과정, 그림 5-37은 온도 변화에 따른 균열 팽창/수축 과정, 그림 5-38은 화재에 의한 손상을 나타낸다.

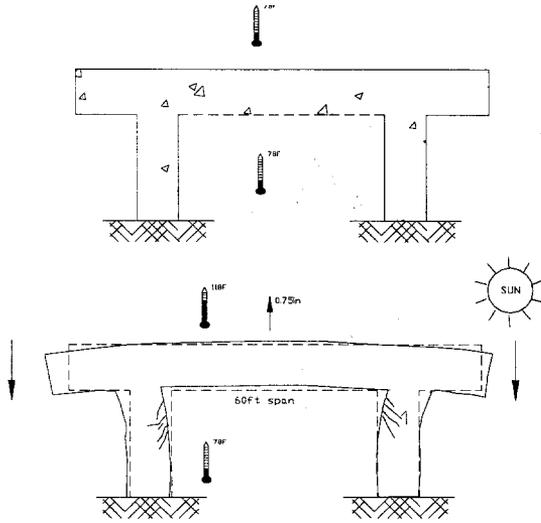


그림 5-34 불균일한 온도하중 1

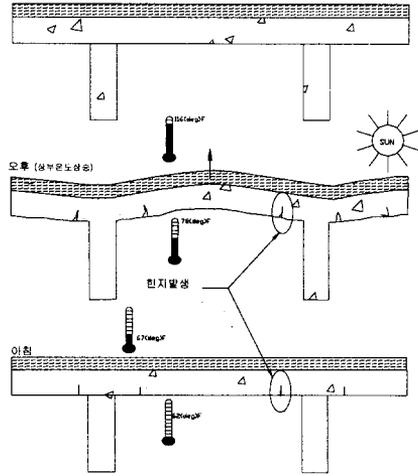


그림 5-35 불균일한 온도하중 2.

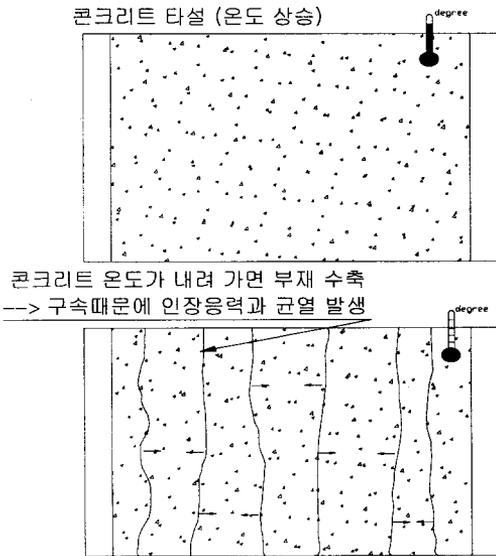


그림 5-36 타설 콘크리트의 초기 온도 균열

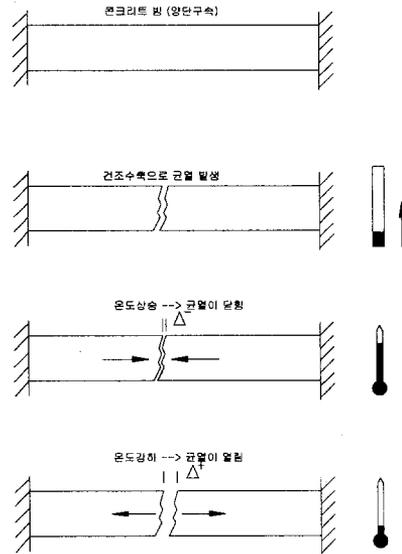


그림 5-37 온도변화에 따른 균열 팽창 및 수축

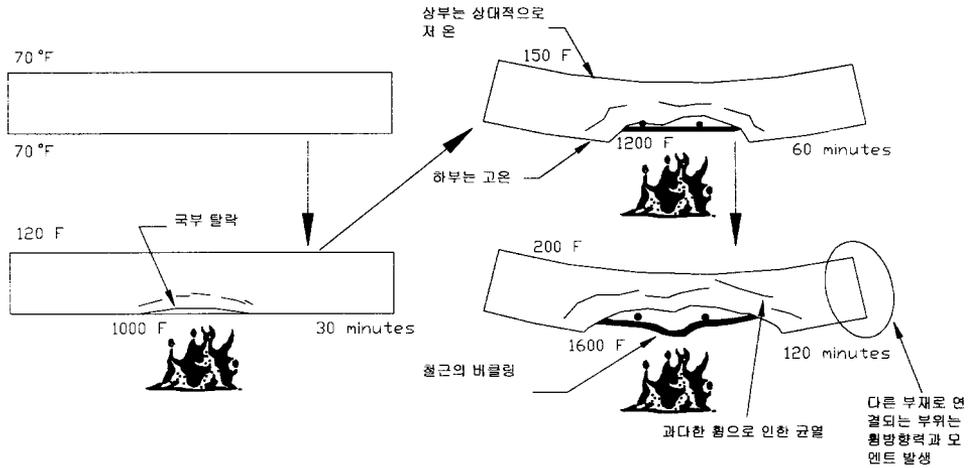


그림 5-38 콘크리트의 화재 손상

### 3) 하중 효과

구조물은 하중을 받으면 응력이 야기되어 체적변화를 겪게 된다. 철근콘크리트는 콘크리트와 철근의 합성물인데, 콘크리트는 압축 저항능력이 크고 인장 저항능력은 취약하다. 철근은 이러한 콘크리트의 취약성을 보완하기 위하여 적용된다. 콘크리트와 철근은 합성 재료로 효과적으로 거동하는데, 그 이유로는 유사한 온도팽창계수, 철근과 콘크리트의 우수한 부착능력, 철근 부식을 방지하는 콘크리트의 알칼리 특성 등이 있다. 과대한 변형, 균열, 탈락과 같은 콘크리트 손상은 하중과 관련된 체적 변화로 발생할 수도 있다.

그림 5-39 ~ 그림 5-42에는 하중 효과에 따른 균열형태가 나타나 있는데, 그림 5-39에는 단순보의 균열모드, 그림 5-40에는 연속보의 균열모드, 그림 5-41에는 압축력에 의한 균열 모드, 그림 5-42에는 프리스트레스로 인한 기둥의 균열이 나타나 있다.

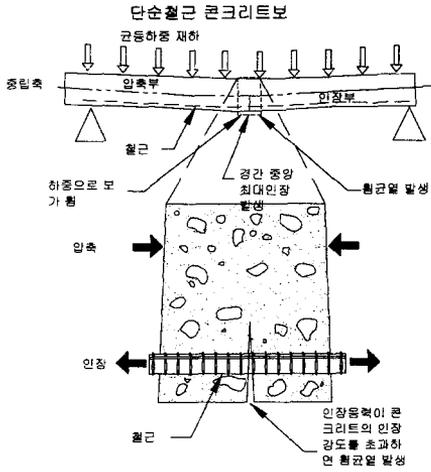


그림 5-39 단순보의 균열 모드

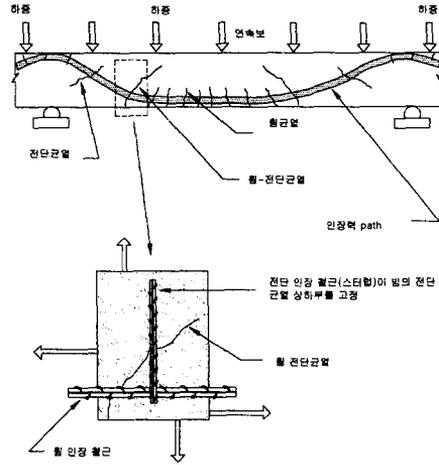


그림 5-40 연속보의 균열모드

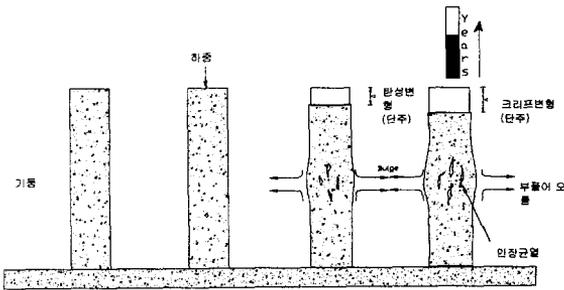


그림 5-41 압축력에 의한 기둥의 균열 모드

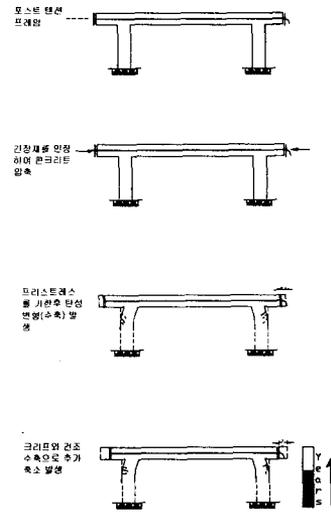


그림 5-42 프리스트레스로 인한 기둥의 균열

## 다. 시 공

### 1) 콜드 조인트

콜드조인트는 부재내에 콘크리트가 일체로 부착되지 않고 불연속적인 부위로

콘크리트를 여러차례에 걸쳐 타설할 때 타설과 타설사이의 경계에 많이 생기며 콘크리트 댐이나 높은 벽(wall)구조에 많다 : 콜드조인트를 막고 부착과 수밀성을 확보하기 위해서는 경화된 콘크리트 표면의 먼지, 부스러기, 레이턴스를 깨끗이 제거한 후 다음 타설을 이어가야 한다. 그림 5-43은 콜드 조인트 현상을 나타낸다.

## 2) 골재 분리

골재분리는 콘크리트 구성요소를 불균일하게 만드는데 상부에는 과다한 시멘트 풀과 잔골재가 쌓이게 되어 내구성에 문제를 일으킨다. 골재 분리는 높은 슬럼프 치, 부적절한 콘크리트 타설, 과다한 진동 등이 주요원인이 된다. 그림 5-44에는 골재 분리 현상이 나타나 있다.

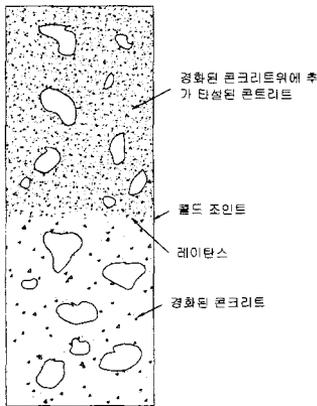


그림 5-43 콜드 조인트



그림 5-44 골재 분리

## 3) 소성침하에 의한 균열

고정된 철근 주위의 콘크리트 침하에 의한 것으로 철근 위에 균열이 생기고 철근 밑에는 공극이 생기게 된다. 이 크랙의 빈도는 피복두께, 슬럼프 치, 철근크기에 따라 다르다.

콘크리트가 침하하는 이유로는 다음 사항등이 있다.

1. 과도한 물과 적은 모래
2. 큰 철근 사용
3. 과도한 온도 변화
4. 구조물의 비균일한 변형
5. 수분 흡수
6. 저습
7. 기동 시공후 슬래브나 빔을 단기일에 시공하는 경우
8. 부족한 다짐
9. 거푸집의 이동

그림 5-45에서는 소성침하로 인한 균열을 나타내고 있다.

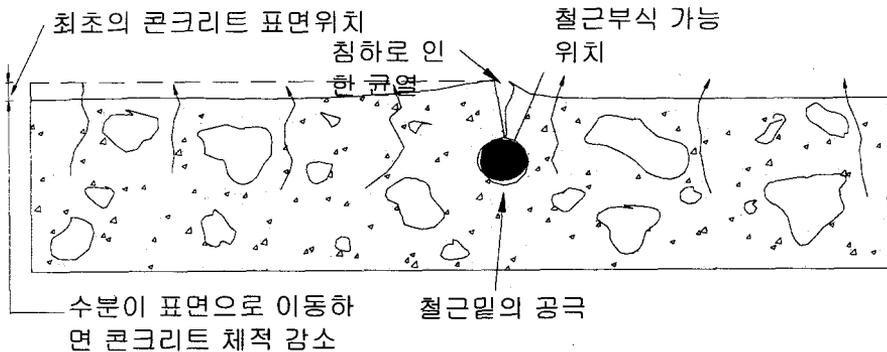


그림 5-45 소성침하로 인한 균열

#### 4) 소성 수축 균열

소성 수축은 콘크리트가 소성상태에서 경화되기 시작하는 단계에서 콘크리트 내부 수분의 급격한 증발이 원인이다.

수축으로 인한 인장 응력이 초기 콘크리트의 인장강도를 초과하여 균열이 발생하게된다. 이 균열은 골재를 직접가르지는 못하고 골재 주변으로 진행되다가 온

도 및 건조 수축으로 그 크기가 확대된다. 그림 5-46에서는 소성 수축으로 인한 균열을 나타내고 있다.

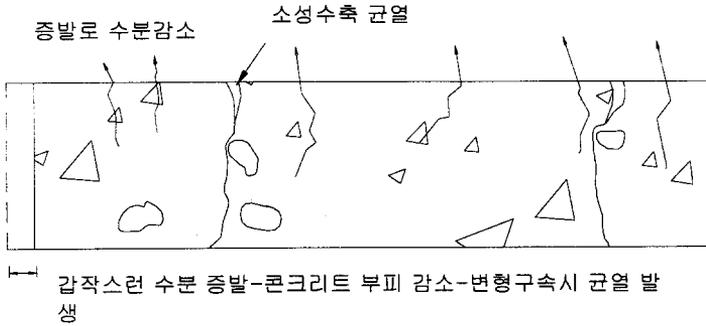


그림 5-46 소성 수축으로 인한 균열

#### 5) 허니 콤과 록 포켓

허니 콤은 굵은 골재사이를 모르타르가 채우지 못하고 남은 공간을 말하며 이것이 심하여 과다하게 골재가 한곳에 모여 있을 때 이를 록 포켓이라고 한다.

허니 콤의 주요 원인으로는 과밀한 철근 배치, 좁은 단면, 철근 연결, 거푸집 틈새를 통한 과다한 모르타르 누출, 잔골재의 부족, 낮은 워커 빌리티, 과다한 믹스, 너무 큰 골재 사용, 과다한 타설 높이, 골재 분리, 다짐 부족 등이 있다. 그림 5-47은 허니 콤과 록 포켓을 나타내고 있다.

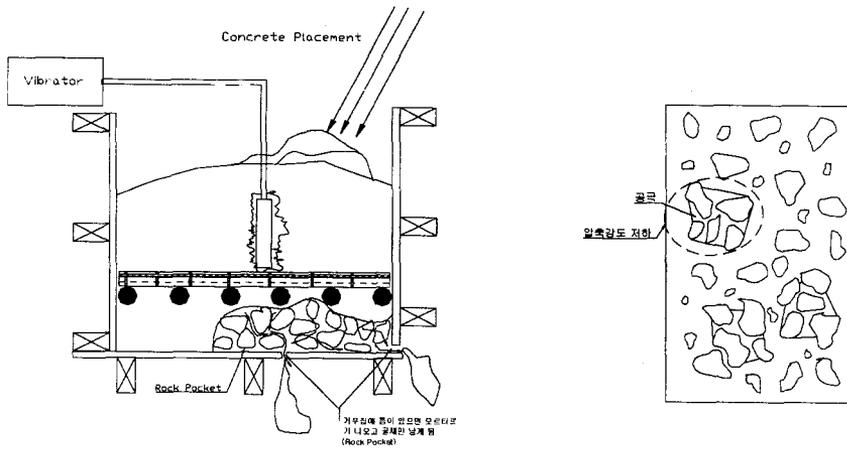


그림 5-47 허니 컴 과 록 포켓 (Honeycomb & Rock Pocket)

### 3. 손상 및 열화 원인 분석 실험

농업용 수로구조물은 농산물의 생산에 있어 중요한 역할을 수행하고 있는 구조물로 대부분 콘크리트로 구성되어 있다. 농수로 구조물은 제방 및 농로교를 제외하고 구조적 손상이 있을 경우에도 직접적인 인명피해를 주지 않는 특징을 갖고 있으며, 구조물이 매우 방대한 지역에 분포하고 있어 적절한 유지관리를 위하여 인력 및 비용이 많이 소요되기 때문에 유지관리에 어려움이 많은 실정이다.

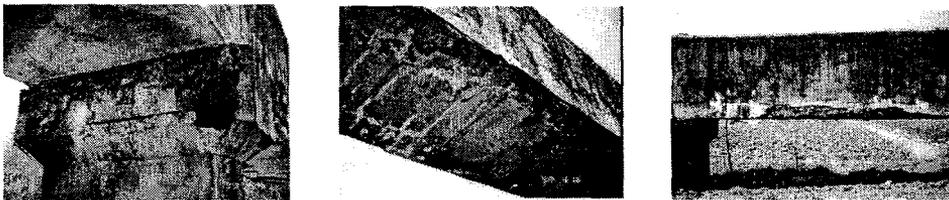
농수로구조물은 항상 유수에 의한 물리적 힘을 받는 환경에 놓여 있고 일사, 풍우, 기온 등에 노출되어 있기 때문에 일반 구조물에 비하여 좀 더 가혹한 환경에 놓여 있음에도 불구하고 유지관리의 어려움으로 인하여 농수로구조물의 성능저하는 매우 심각한 상황에 이르고 있다. 현재 대부분의 농수로구조물은 내구 연한에 도달하기 훨씬 이전부터 구조물의 기능저하(용수 손실) 많은 경제적인 손실을 보고 있다.

본 연구에서는 농업기반공사 예당지부 관할 상황리 방산지 구역의 2곳의 구조물을 대상으로 성능저하의 현상을 파악하고 각종 물리, 화학적인 분석을 통하여 성능저하의 원인을 규명함으로써 농수로 구조물의 성능 저하의 방지 및 성능 회복을 위한 방안을 제안하고자 한다. 열화 원인 분석 실험으로는 열화부위 조사를 통한 열화

현황도 작성 후에 구조체 강도 평가를 위한 비파괴 시험과 코아시험, 구조적 안정성 검토를 위한 철근 부식 및 배근 조사 그리고 열화 원인 및 시공 환경의 영향을 파악하기 위한 공극구조 분석 및 구성화합물 분석 등이 수행되었다.

#### 가. 대상 구조물의 현황

본 연구의 진단 대상 구조물은 1982년 11월에 완공되어 약 17년간 사용되어온 수로교 및 여수토 구조물로서 수로교의 경우에는 현재 그림 5-48과 같이 팽창 줄눈 조인트와 슬래브와 측벽의 이어치기 부위에서의 누수로 인한 교각부의 박리·박락, 슬래브 측면의 백화, 슬래브 하면의 철근부식과 균열 등 다양한 성능저하 현상을 보이고 있다. 보다 상세한 손상 및 열화 현상은 앞 절의 손상 및 열화 형태나 부록의 열화 현황도에 조사되어 있다.



(a) 교각부 누수, 박리, 박락 (b) 슬래브 하면의 철근부식 (c) 슬래브 측면의 백화

그림 5-48 조사대상 농수로교의 성능저하 현황

#### 나. 조사 계획 및 방법

조사 체계를 나타내고 있는 그림 5-49에서 알 수 있는 바와 같이 농업 수리구조물의 성능저하 원인을 검토하기 위하여 물리적 성능검토와 화학분석 및 조직분석을 실시하였다. 물리적 성능검토에서는 육안조사, 적외선 탐사, 반발도에 의한 압축강도 추정, 코아 압축강도, 중성화 깊이 측정, 피복두께 측정 등을 실시하였고, 화학분석 및 조직분석에는 X-ray 회절 분석, 열중량 분석, SEM 촬영, 수은압입법을 수행하였다.

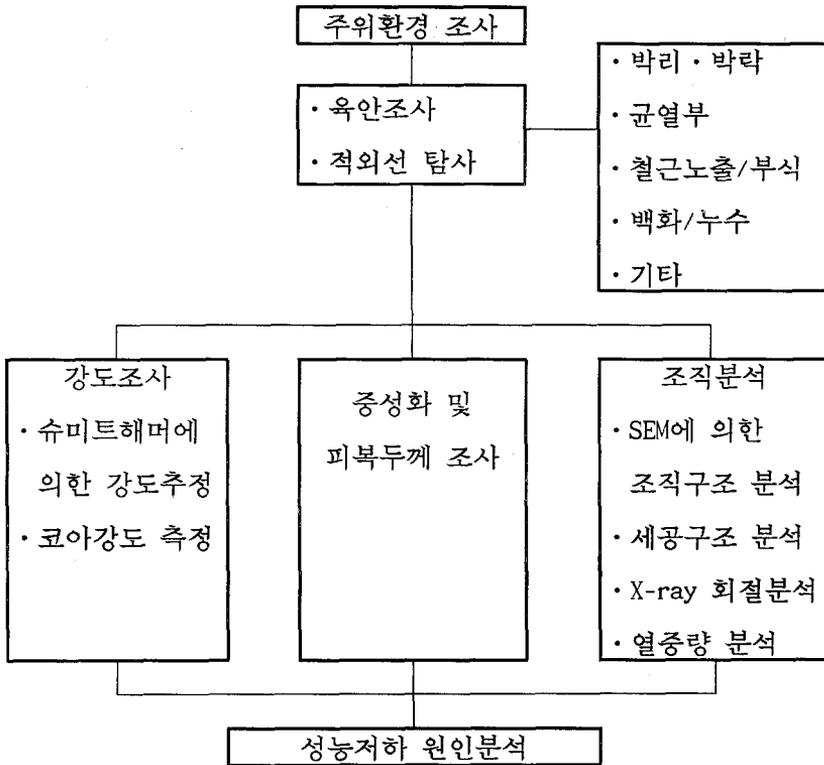


그림 5-49 성능저하 원인분석을 위한 조사 체계

#### 다. 열화부위 조사

##### 1) 육안검사

그림 5-48에서 알 수 있는 바와 같이 교각부에서는 주로 팽창 줄눈의 누수로 인한 동해에 의한 것으로 추정되는 균열로 인하여 교각부가 깊게는 5cm 정도 박락 되는 등 많은 부위에서 철근 노출이 관찰되었다. 슬래브 하면에서는 피복두께 부족으로 인한 철근 노출과 누수에 의해 용출된 탄산칼슘 고드름 및 골재분리 현상이 많은 부위에서 관찰되었으며, 슬래브와 측벽의 조인트 부위에서는 많은 양의 쿨드조인트와 다량의 균열 및 박락과 백화현상이 많은 곳에서 관찰되었다. 여수토와 개수로의 경우는 누수, 균열, 박리, 들뜸이 주 열화 현상이었다. 조사된 농업 구조물 열화 현황도는 부록Ⅲ에 나타나있다.

## 2). 적외선 탐사

넓은 부위를 대상으로 콘크리트의 들뜸 및 누수부위를 효과적으로 찾아내는 방법으로 사람이 직접 육안으로 판단하기 어려운 곳에서 효과적인 방법이다. 그림 5-50은 수로교의 적외선 탐사결과를 나타낸 것이다. 그림에서 온도가 낮은 부위는 짙은색으로 나타나고 높은 부위는 옅은색으로 나타나는데 온도가 낮은 짙은색 부위는 습기가 있는 부위로 판단된다. 그림을 세밀히 살펴보면 수로교 전장에 걸쳐 슬래브와 측벽의 이어치기 부분(콜드조인트)과 교각위의 신축 이음부 부위에서 짙은색이 나타난다. 이는 육안조사 결과와 일치하고 이로부터 누수가 광범위하게 진전되고 있음을 확인할 수 있다.

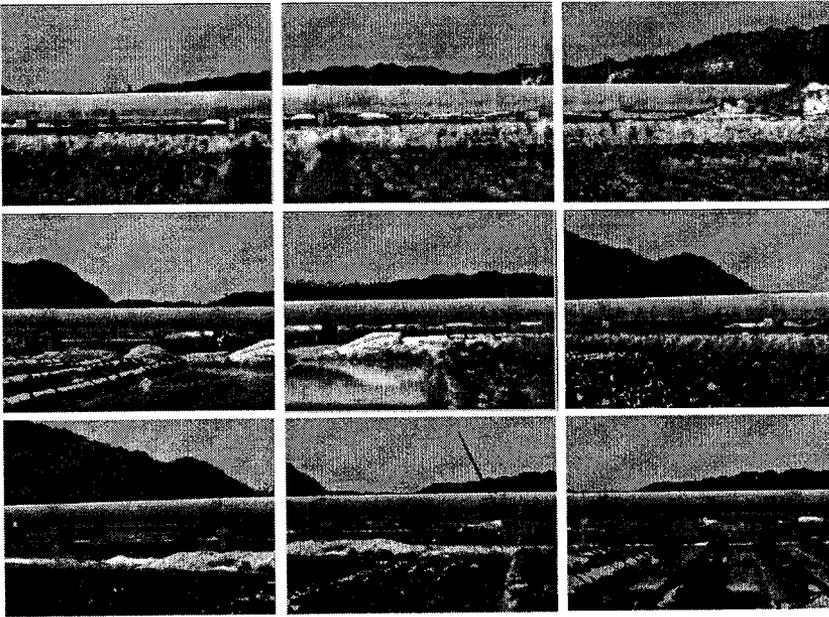


그림 5-50 수로교의 열 화상 분석 결과

## 라. 압축 강도조사

그림 5-51은 코아 공시체의 압축강도 실험이 나타나있다. 표 5-6은 반발도에 의한 추정 압축강도와 코아 압축강도의 결과를 증성화 깊이의 측정 결과와 함께 나타낸 것이며, 그림 5-52는 반발도에 의한 주요 부재별 압축강도를 추정한 결과이다.

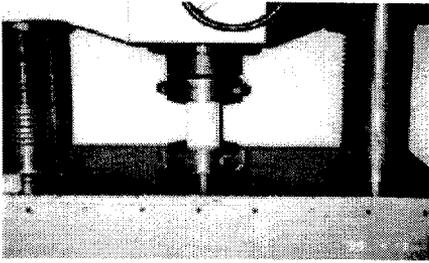


그림 5-51 코아 압축강도시험

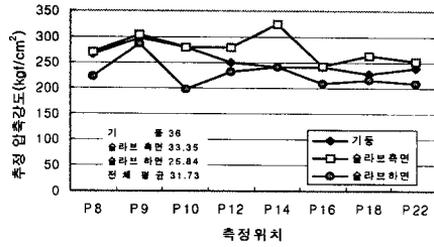


그림 5-52 반발도에 의한 압축 강도 추정결과

그림 5-52에서 알 수 있는 바와 같이 슬래브 측면, 기둥, 슬래브 하면 순으로 압축강도가 낮게 추정되었으며, 추정강도는 대체로 설계강도인 210kgf/cm<sup>2</sup> 이상을 보이고 있다.

그러나 P10, P12, P14의 교각을 대상으로 코아 압축강도를 조사한 결과 P12, P14의 압축강도는 설계강도보다 낮게 나타나고 있는데, 이의 원인은 코아 공시체의 내부의 골재분리에 기인하는 것으로 사료된다. 이러한 골재분리가 슬래브 하면에서도 여러 곳이 관찰된 점을 고려하면, 시공시 상당히 묽은 비빔의 콘크리트를 사용한 것으로 추정된다.



그림 5-53 코아 증성화 시험

표 5-6 코아강도와 추정강도의 비교 및 중성화 측정결과

구분	반발도				압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )			중성화 깊이 (mm)
	평균 (R)	보정 (△R)	타격 각도 (α)	재령 계수 (an)	추정 강도	코아 강도	설계 강도	
P10	41	0	0°	0.63	220	223	210	21.8
P12	42				231	174		35.7
P14	44				243	178		29.1

마. 중성화 및 피복두께 조사

그림 5-53은 코아 중성화 시험 결과이고, 그림 5-54 와 55 그리고 표 5-6에는 기둥과 슬래브를 대상으로 한 중성화 및 철근 피복두께의 측정결과가 나타나있다.

중성화 깊이는 35mm로 나타난 것도 있으나 대체적으로 5~20mm의 범위로 나타났으며, 철근에 대한 피복두께는 50mm 이상의 것도 있으나 대체적으로 20~40mm 사이에 분포하고 있어 시공시 충분한 피복두께를 확보하지 않았음을 알 수 있으며, 이러한 경향은 슬래브 하면에서 심하게 나타나고 있다.

사용 연한이 17년인 콘크리트 구조물의 일반적인 중성화 깊이는 경험식으로 산정해 보면 약 15mm 정도인데 그림 5-54와 표 5-6의 중성화 깊이를 살펴보면 전체 시험체의 평균값은 사용 연한의 중성화 깊이에 비하여 작을지라도 상당히 많은 시험체의 중성화 깊이가 사용 연한 중성화 깊이 보다 상당히 큰 값이었다. 이로부터 상당히 많은 부위에서 일반적인 건전한 콘크리트에 비하여 열화가 빠르게 진전되었음을 알 수 있다. 또한 기둥의 13번 시험체와 슬래브 하면의 7번 시험체의 경우에 중성화 깊이가 피복 두께가 크게 나타나 중성화에 의한 철근 부식이 진행되고 있음을 추정 할 수 있고, 대체적으로 피복 두께가 작은 슬래브 하면의 경우에 중성화에 의한 철근부식의 가능성이 높다고 판단된다.

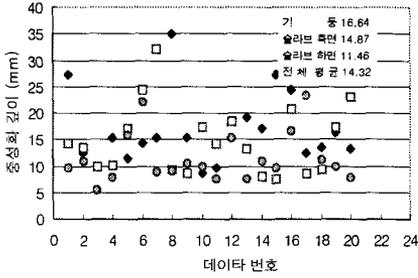


그림 5-54 중성화 깊이 측정결과  
(범례는 그림 5-52와 동일)

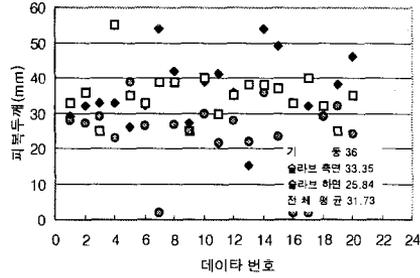


그림 5-55 피복두께 측정결과  
(범례는 그림 5- 52와 동일)

바. 조직분석

표 5-7은 수은압입법에 의한 공극 구조 분석과 TGA에 의한 열중량 분석의 결과를 나타낸 것으로 건전부위에 대비하여 중성화 된 부위는 낮은 기공율을, 성능저하부위는 높은 기공율을 보이고 있다. 이는 성능저하부위의 경우 수분의 이동에 의해 많은 양의 수용성물질이 구조체 밖으로 용출되었기 때문에 나타난 현상으로 판단된다. 또한 열중량 분석의 결과는 예상한 바와 같이 중성화부위와 성능저하부위에서 탄산칼슘의 양이 증가하고 있는 것으로 나타났다. 그림 5-56은 건전부위 와 백화부위의 구성화합물에 대한 정량적 분석을 위한 열중량 분석의 결과를 나타낸 것이다.

그림 5-57는 건전한 부위와 동해에 의해 성능저하가 생긴 것으로 판단되는 박리·박락부위의 SEM촬영 결과이다. 건전부위는 CSH가 잘 발달되어 치밀한 조직을 형성하고 있으나 박리·박락에 의해 성능이 저하된 부위에서는 부분적으로 수용성 물질의 용출에 의한 다공성을 나타내고 있다.

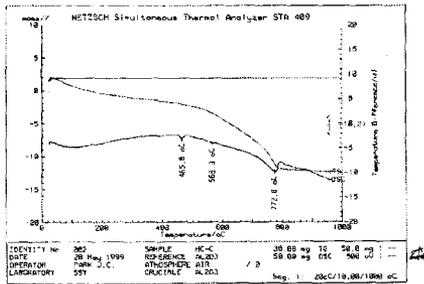
수은압입법에 의한 공극구조 분석결과와 SEM 그림의 결과를 보면, 성능저하부위의 경우 다공성을 나타내고 있어 수분에 의한 동결융해의 피해를 크게 입을 가능성이 높은 것으로 판단된다.

그림 5-58은 X-ray 분석결과를 나타낸 것으로 점토질의 Muscovite가 모든 부위에서 나타나 시공시 콘크리트에 다량의 점토가 유입된 것으로 추정된다. 또한, 건전한 부위에 비교하여 중성화 부위와 성능저하 부위에서는 Portlandite (Ca(OH)<sub>2</sub>)의 피크점이 매우 미약하고, Calcite(CaCO<sub>3</sub>)의 피크점도 높지 않은 것으로 나타나고

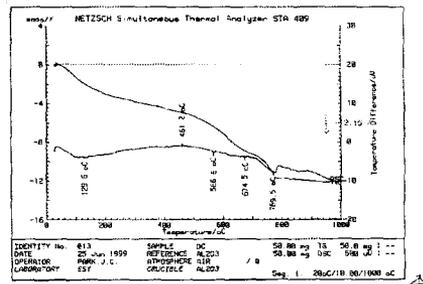
있는데, 이는 Portlandite가 Calcite로 전이된 후 수분에 용해되어 구조체 밖으로 용출되었기 때문에 나타난 현상으로 판단된다.

표 5-7 기공율 및 열중량 분석 결과

시 료	기공율 측정 결과			열중량 분석결과	
	수 은 침입량 (ml/g)	기공 면적 (m <sup>2</sup> /g)	기공 평균직경 (μm)	Ca(OH) <sub>2</sub> (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
건전부위	0.1238	20.159	0.0246	3.29	4.55
중성화 부위	0.1115	14.538	0.0307	0.82	10.23
성능저하부위	0.1559	29.410	0.0212	0	6.36

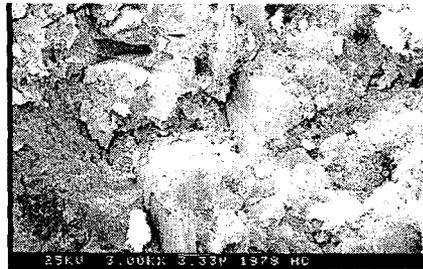
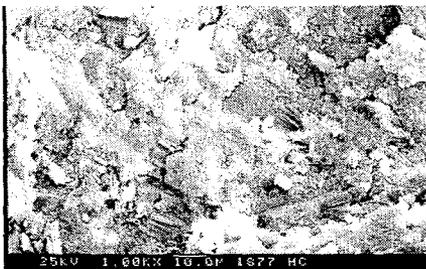


a) 건전부위

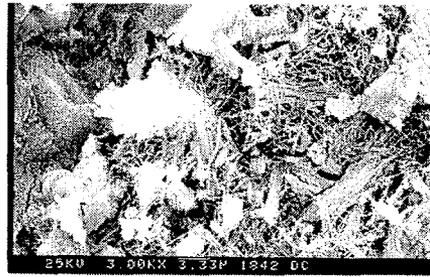
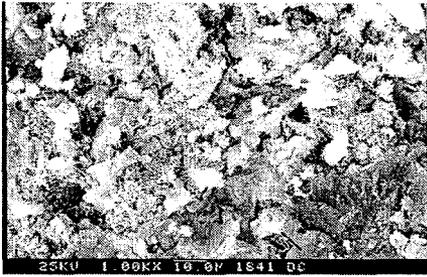


b) 열화부위

그림 5-56 열중량 분석



건 전 부 위



열화부위

그림 5-57 SEM 그림

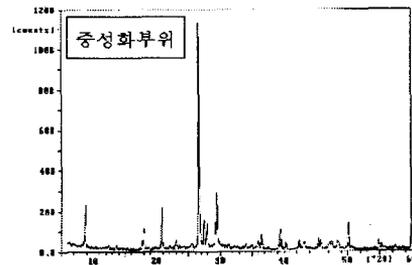
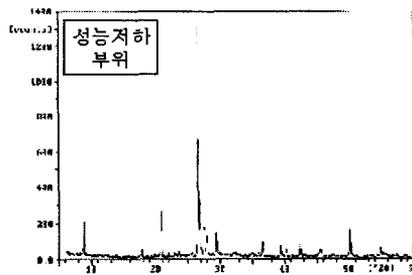
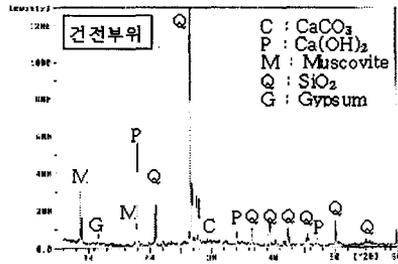


그림 5-58 X-Ray 분석결과

## 사. 요약

농업 수로구조물에 대한 성능저하 현상과 성능저하원인을 분석한 결과 농업 수로 구조물의 내구성능 저하의 주요원인을 시공적인 측면과 사용환경적인 측면에서 분류하면 다음과 같다.

- 1) 시공시 철근에 대한 피복두께를 충분히 확보하지 않았으며, 콘크리트에 많은 양의 점토를 함유한 상태에서 묽은 비빔 콘크리트로 시공함으로써 재료분리가 야기되어 구조체 콘크리트의 내구성이 크게 손상된 것으로 판단된다.
- 2) 농업 수로구조물의 특성상 다른 구조물에 비하여 물의 침투가 빈번하여 구조체의 수용성 물질이 외부로 용이하게 용출됨으로 구조체의 다공화가 촉진된 것으로 사료된다.
- 3) 수용성 물질의 용출에 의해 생긴 공극 속에 상대적으로 많은 양의 수분을 함유하여 동절기에 동결융해에 의한 피해를 크게 받기 때문에 구조체의 균열 및 박리가 심화된 것으로 판단된다.

## 제3절 보수·보강 공법 DB 및 최적 보수공법 선정 실험

### 1. 서론

농업 수로구조물에 대한 손상 및 열화 원인을 분석한 결과 시공과 노출환경이 주요 원인이었다. 동결기 시공, 시공관리의 어려움, 낮은 설계강도, 물과의 빈번한 접촉, 동결융해, 침식 등의 원인이 콘크리트의 손상 및 열화를 가속시켜서 일반 토목구조물보다 성능 저하가 심하였다. 이러한 원인에 의한 누수, 백화, 균열, 박리, 박락, 철근 노출 및 부식 등이 콘크리트 수리구조물의 주요한 성능 저하 현상이었다. 이러한 성능 저하 현상에 대한 보수 공법으로는 주입공법, 실링공법, 누수 실링공법, 충전공법, 철근보수공법, 단면보수공법, 표면보호공법 등이 가장 많이 사용된다. 이러한 보수공법들은 누수방지, 철근보수, 단면복구, 표면보호를 목적으로 시행된다.

콘크리트 수리구조물의 손상 및 열화 현상에 대하여 위의 보수공법을 시행할 때 가장 유의 해야할 사항은 수리구조물이 일반 토목구조물에 비하여 시공 및 노출환경이 매우 열악하기 때문에 보수 재료 선정시 이러한 열악한 환경에 저항성이 좋은 재료를 고려해야 한다는 점이다. 열악한 환경에 저항성이 좋은 재료를 파악하기 위하여 콘크리트 수리구조물에 많이 사용되는 다양한 보수재료에 대하여 성능 평가 실험을 실시하였다.

또한 노후화된 농업 수리구조물 중에서 농로교, 수로교, 댐 등이 보강공법을 실시하여 내하력을 회복시키거나 증진시킬 필요가 있는 대표적인 수리구조물이다. 따라서 농로교와 수로교의 손상된 슬래브의 보강에 적용 가능한 다양한 보강공법을 균열을 발생시킨 보에 실시하고 평가실험을 수행하여 농업 구조물에 가장 적합한 보수·보강공법을 선정하고자 하였다.

### 2. 손상 및 열화 원인별 보수·보강 공법 DB

#### 가. 콘크리트 성능저하 현상에 대한 보수 공법 선정 절차

농업 수로구조물에 대한 손상 및 열화 원인을 분석한 결과 시공과 노출환경이 주요 원인이었다. 이러한 원인에 의한 누수, 백화, 균열, 박리, 박락, 철근 노출 및 부식 등이 콘크리트 수리구조물의 주요한 성능 저하 현상이었다. 이러한 성능 저하

현상에 대한 보수 공법으로는 충전공법과 같은 표면 보수 공법이 가장 많이 사용된다. 콘크리트 수리구조물의 성능저하 현상에 가장 많이 사용되는 보수공법의 설계 절차를 살펴보면 그림 5-59에 보이는 보수 대책 체계와 같다. 일반적으로 효과적인 보수 공법 설계를 하기 위해서는 현상 파악과 원인 분석을 하고 사용자의 요구 사항과 시공성, 환경, 안정성, 보수효과, 구조 역학적인 항목 등을 고려하여 보수 공법과 재료를 선정하여야 한다. 보수 공법에 요구되는 3가지 성능조건은 보호, 외관, 하중지지에 관한 것이다. 최적의 보수공법 선정은 열화 현상과 원인 파악, 외부 조건 및 환경 분석 그리고 요구되는 성능조건에 맞는 설계로 이루어진다. 다음 그림 5-60은 보수시에 요구되는 성능조건을 나타낸 것이다.

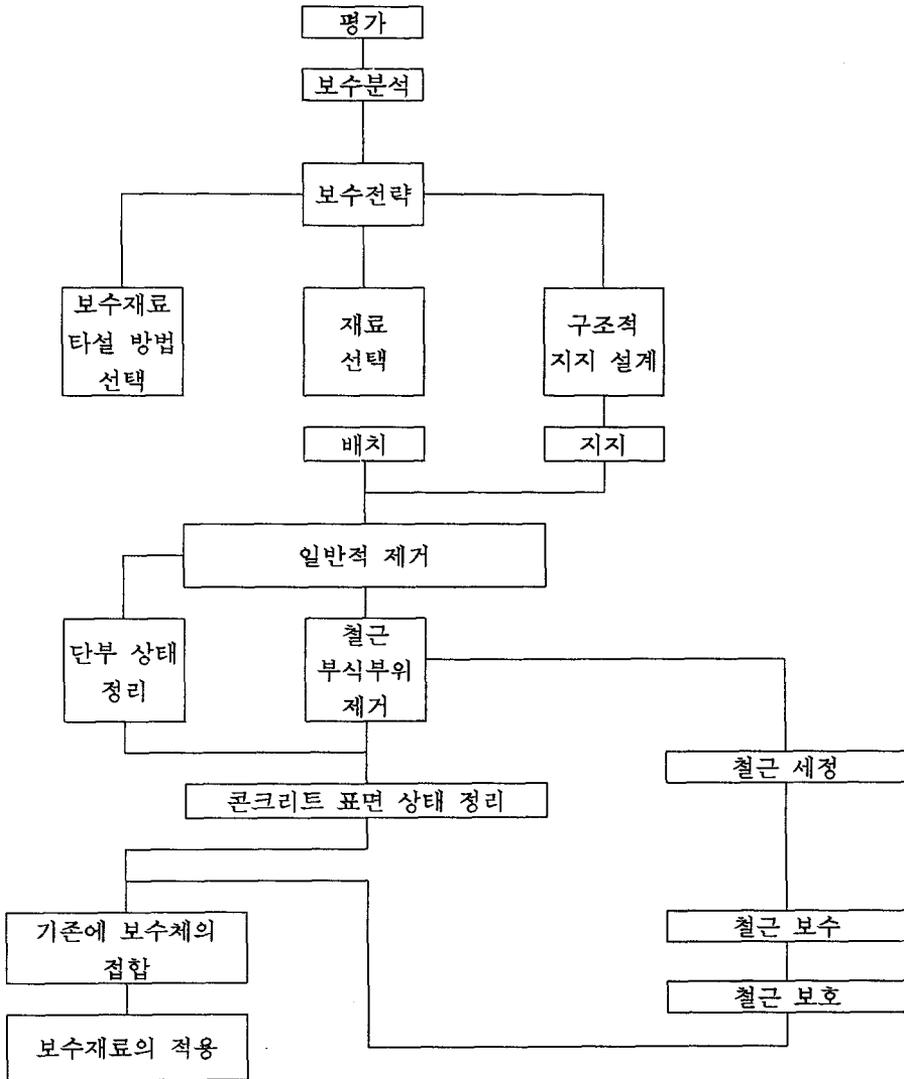


그림 5-59 보수 대책의 흐름도

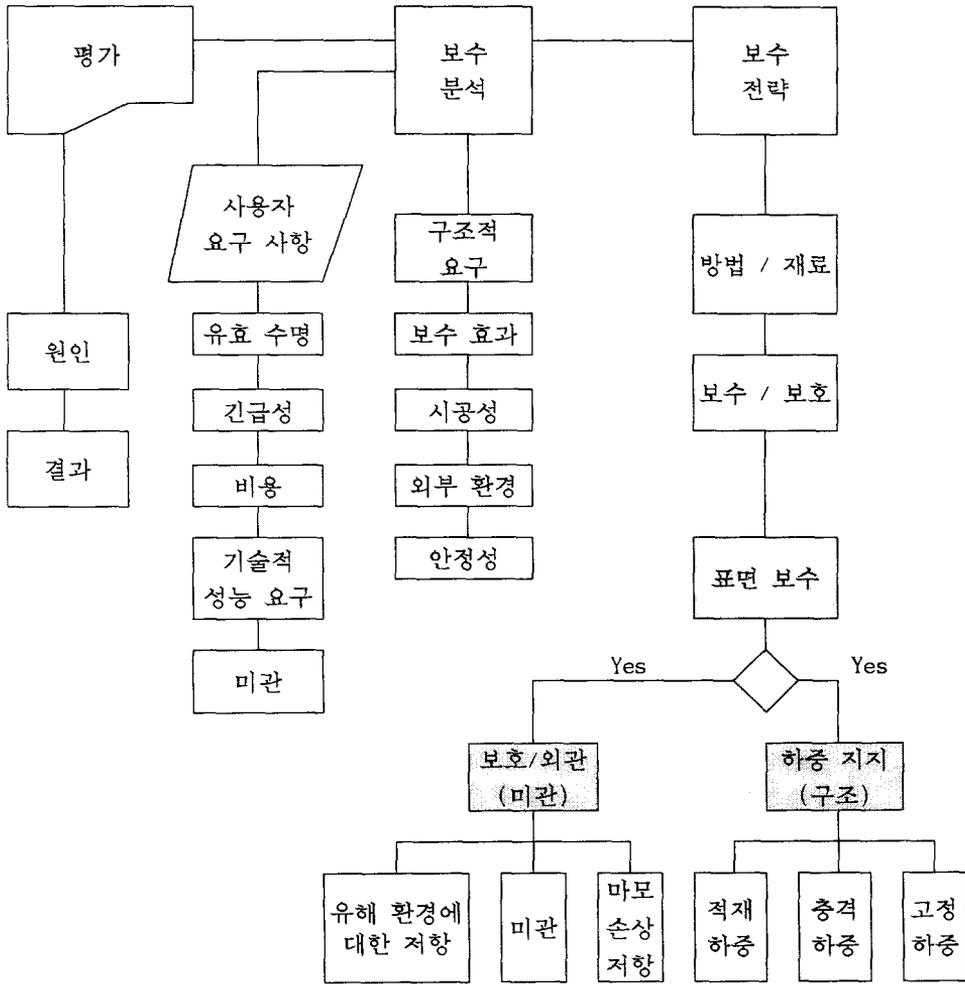


그림 5-60 보수 공법 설계시 고려사항

나. 보수 재료 선정

1) 보수 재료 선정 체계

보수재료의 선택에는 사용자와 기술자가 필요로 하는 사용조건 그리고 외부 노출 조건 및 보수 기술의 이해를 포함하는 중요하고 복잡한 과정이 요구된다. 요구사항이 설정되고 재료의 성질이 정의된 후에야 특정 재료에 대한 선택이 이루어지고 어떤 경우에는 하나이상의 재료와 시스템이 설정된 요구사항을 만족시킬 것이다. 최종적인 재료의 선택은 비용, 성능 및 위험도와 관계를 바탕으로 이루어진다. 다음 그림 5-61은 보수재료의 선택절차를 나타낸 것이다.

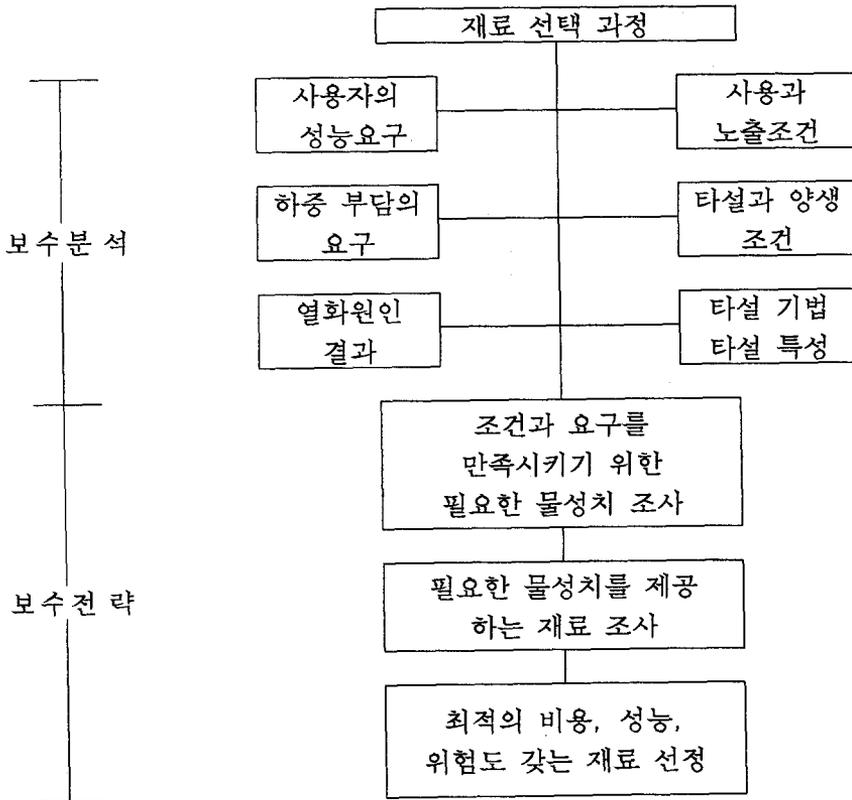


그림 5-61 보수재료 선택 절차

## 2) 보수재료에 요구되는 특성

예상되는 하중에 대한 사용성과 노출 조건에 대해서 성공적으로 작용하는 보수 재료를 선택하는 것은 사용성과 노출 조건이 보수된 부재(모재, 접착, 보수재료)에 어떻게 작용하는지에 관련이 있다. 각각의 사용성/노출상태에 대해서 보수된 부재의 거동이 일어나는데 이런 반응은 표면, 보수재료, 보강철근, 표면과 모재사이의 경계면 등의 보수된 부재내에서 각각 다른 형태로 나타난다.

주어진 사용/노출 상태에 대한 재료의 반응을 이해하는 것은 성공적인 보수를 위한 요구되어지는 재료의 특성을 파악하는데 도움을 준다. 표5-8은 성공적인 보수를 위한 재료를 선택하기 위해서 요구되는 재료 특성이 하중부담 상태, 사용과 노출조건, 외부 하중상태, 시공과 외관 조건에 따라 정리되어 있다.

표 5-8 성능 요구 조건에 필요한 재료 특성

성능 요구조건	필요 특성	성능 요구조건	필요 특성
접착	고 인장 접착성, 저 내부 응력	자외선 노출	높은 자외선 저항성
예상되는 하중부담	모재와 같은 탄성계수, 극도로 작은 압축 Creep 극도로 작은 건조 수축	습기	저 투수성, 건조수축
온도 변화	모재와 같은 온도 수축 팽창 계수	유수	고밀도, 고압축, 인장 강도
타설시 보수재료의 온도 변화	타설과 양생시의 저 발열량	자동차	고밀도, 고압축강도
대기 가스	저투수성과 높은 균열 저항성	충격하중	고인장강도, 고압축강도, 고부착, 정착강도, 저탄성계수
유해 화학 물질	저투수성과 높은 균열 저항성 그리고 화학 저항성	시공성	- 높은 초기 강도 발현 - 높은 슬럼프치 - 높은 재료 응결력
표면 균열 방지	저 건조수축, 유연한 표면 피막, 저 발열량, 타설시 적은 표면수 손실		

## 3) 건조수축에 의한 체적 변화 효과

보수된 부재에서 발생하는 문제의 대부분은 모재와 보수된 부분과의 체적 변화

의 차이로 나타난다. 보수한 부분의 건조수축으로 인한 체적변화는 수축 균열, 층분리, 내하능력 저하, 철근 부식 그리고 좋지 않은 마감 등 많은 성능저하 현상을 초래한다. 따라서 내구성이 좋은 보수를 위해서는 건조수축이 아주 작은 재료를 사용해야 한다. 건조수축 과정은 다음과 같다. i) 혼합되어 타설되는 보수재료의 대다수는 수화작용에 필요한 양보다 많은 수분을 함유하고 있다. ii) 보수된 부분이 건조되면 보수 재료의 체적이 줄어들고 인장 응력이 보수된 부분에 축적되어 증가한다. iii) 발생 응력이 재료의 인장강도를 초과하면 균열이 일어나게 된다.

보통 콘크리트의 건조수축율은 0.05%(30 일)인데 반하여 대부분의 보수 재료의 건조수축율은 이보다 훨씬 큰 값이다. 비교적 낮은 범위인 0에서 0.05%의 건조수축 값을 갖는 보수 재료를 선택함이 균열 가능성을 감소시킬 수 있다. 특별한 경우가 아니면 0.10%가 넘어가는 재료를 선택하는 일은 되도록 피하는 것이 좋다. 표면 보수 재료의 건조 수축을 줄이기 위하여 다음과 같은 사항에 유의하여야 한다.

- 최대 골재 함유량을 갖는 배합을 사용한다.
- 깨끗하고 건전한 골재를 사용한다.
- 가능한 한 커다란 골재를 사용한다.
- 수분을 많이 필요로 하는 조건(높은 온도에서의 배합)을 피하라
- 필요 강도를 발현할 만큼의 최소한의 시멘트를 사용한다.
- 초기 건조수축을 막기 위한 적당한 습윤 양생을 실시한다.

#### 4) 재료의 선택

열화가 심화된(38mm이상) 보수에 가장 많이 사용되는 재료는 포틀랜드 시멘트와 좋은 비율의 골재를 사용한 것이다. 이러한 재료에 대한 내구성은 특정한 포졸란(마이크로실리카), 폴리머(라텍스) 혹은 투수성을 감소시키는 혼합재를 사용함으로써 증가될 수 있다.

대부분의 라텍스혼입 그리고 마이크로실리카 혼입 콘크리트와 모르타르는 건조수축에 저항성이 우수하다. 그러나 재료 선정시에는 반드시 믿을만한 건조수축 실험 자료로부터 낮은 수축률을 가진 재료를 선택하는 것이 보수 공법의 신뢰를

높이는 최선의 방법이다.

포틀랜드 시멘트를 사용한 재료의 양생은 조기 수축과 장기적인 성능에 크게 영향을 미치기 때문에 양생에 주의하여야 하고, 알려지지 않은 구성성분을 함유하고 있거나 결과가 증명되지 않은 기법을 사용한 재료의 사용은 가능한 한 피해야 한다. 또한 석회를 함유한 재료를 사용하는 경우에는 습기에 노출되면 조절이 불가능할 정도로 팽창하고 극단적으로 낮은 내구성을 가지게 되므로 주의하여야 한다. 그리고 마그네슘과 인산류와 같은 고발열성의 재료를 사용할 때는 높은 수화열이 식으면서 냉각에 의한 응력이 발생될 수 있기 때문에 주의를 기울여야 한다. 그 외에 인조 재료의 경우에는 알칼리성분이 많아 알칼리 실리카 반응에 의한 조기 열화 가능성이 알려져 있다.

폴리머 콘크리트와 모르타르는 콘크리트 보수에 사용되는 주요 재료의 하나이며 에폭시와 아크릴이 골재와 함께 혼합된 재료는 강도가 크고 화학적 저항력이 강한 재료가 된다. 이 재료들은 사용과 노출 조건하에서 체적변화로 인한 문제를 일으키지는 않는 한 보수 두께에 관계없이 사용될 수 있다. 폴리머 재료의 경우에는 콘크리트에 비해 높은 온도계수를 가지고 있어, 얇은 표면 코우팅을 제외하고는 태양열에 노출되는 경우에 부적합하다.

#### 다. 보수·보강공법 DB

##### 1) 농업 수리구조물 보수·보강공법

농업 수리구조물에 대한 손상 및 열화 원인을 분석한 결과 시공과 노출환경이 주요 원인이었다. 동결기 시공, 시공관리의 어려움, 낮은 설계강도, 물과의 빈번한 접촉, 동결융해, 침식 등의 원인이 콘크리트의 손상 및 열화를 가속시켜서 일반 토목구조물보다 성능 저하가 심하였다. 이러한 원인에 의한 누수, 백화, 균열, 박리, 박락, 철근 노출 및 부식 등이 콘크리트 수리구조물의 주요한 성능 저하 현상이었다. 이러한 성능 저하 현상에 대한 보수 공법으로는 주입공법, 실링공법, 누수 실링공법, 충전공법, 철근보수공법, 단면보수공법, 표면보호공법 등이 가장 많이 사용된다. 이러한 보수공법들은 누수방지, 철근보수, 단면복구, 표면보호를 목적으로 시행된다. 공법들의 자세한 절차는 아래에 설명되어 있다.

## 가) 바탕처리

### (1) 개요

바탕처리란 보수부위에 어떤 보수보강공법을 적용하고자 할 때 보수재와 기존 콘크리트와의 접착부에 밀착성을 좋게하기 위하여, 사전에 바탕소재의 세정이나 어떤 처리를 하는 모든작업을 말한다. 바탕처리의 목적은 보수재의 부착을 저해하는 물질이나 시공 후에 경계층에 결합이 생기게 하는 물질을 제거하거나, 표면의 결합 부분을 제거하여 연속 도막을 확실히 할 수 있도록 하기 위해서 처리하는 것이다.

일반적으로 보수가 요구되는 부위는 구조물의 기능적인 면에서 비정상적이 부위이므로 보수하기 전에 비정상 부위를 제거하고 노출면의 세정이나 적절한 처리가 반드시 필요하다. 기존 구조물에 발생한 각종 노후 손상은 다시 재현될 가능성이 많기 때문에 보수보강공법에 사용되는 재료가 기존 구조물과 일체가 되지 않는 경우 보수보강 효과를 기대하기 어렵다. 따라서, 불건전 부위 제거시 노출된 표면의 바탕 처리는 보수에 있어서는 가장 기본적인 것으로 보수 효과에도 상당히 큰 영향을 미친다.

보수공사의 사전 작업에 해당하는 세정 및 바탕 처리는 보수공법이 달라질지라도 거의 동일한 방법으로 수행하는 경우가 많다. 세정은 바탕 처리의 일부이지만 현실적으로는 세정과 바탕 처리가 동일한 것으로 간주된다. 간혹 보수보강공사 시행시 바탕처리를 경시하는 경향이 있으나 바탕처리를 소홀히 하면 보수효과가 없어지거나 열화를 가속시킬 수 있으니 유의해야 한다.

한편 바탕처리는 보수의 목적을 달성할 수 있을 정도로 하면 되므로 필요 이상의 비용을 들이는 것을 불필요하다. 따라서 바탕처리를 어느 정도로 해야 하는가의 문제는 보수의 목적이나 요구되는 부착력에 따라 달라진다.

노후된 콘크리트의 표면은 정상적인 표면이 나타날 때까지 제거하는 것이 유일한 방법이다. 다만 이러한 콘크리트를 모두 제거함으로써 구조물이 약하게 된다는 파괴의 위험이 초래될 경우 또는 양호한 재료로 바꾸기가 곤란한 경우에는 제거하는 양을 제한해야 한다.

### (2) 바탕 처리 방법

보수가 필요한 부분을 제거할 경우 제거방법은 가능한 한 경계선의 길이를 짧게 하고 형상을 단순하게 하는 것이 필요하다. 경계부가 복잡한 경우에 수축응력의 집중과 이에 따른 균열 발생이 초래될 수 있기 때문이다.

콘크리트가 중성화되면 철근을 부식으로부터 보호하지 못하므로 철근에 접촉되어 있는 중성화된 콘크리트를 충분히 쪼아 내고, 철근을 보호할 수 있는 새로운 콘크리트 또는 불침투성의 수지 모르터로 바꾸어야 한다. 아주 넓은 범위로 제거할 경우 일시적인 구조 보강재가 필요한 경우도 있다.

콘크리트의 중성화란 수화생성물의 약 25%를 차지하는  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  가 외부에서 공급되는 물과 이산화탄소와 반응하여  $\text{CaCO}_3$  으로 변함으로써 콘크리트 제조 당시의 12~13(강알칼리)으로부터 저하되어 pH 8.5~10정도로 변화되는 현상을 말한다.

중성화의 속도는 시멘트내의 알칼리량과 콘크리트에 함유된 염화물 양이 증가할수록 빨라지며, 또한 콘크리트의 조직이 느슨하여 모관공극이 증가하면 외부로부터 이산화탄소와 수분의 이동이 자유로워져서 중성화 속도가 증가하게 된다.

중성화는 콘크리트의 표면부터 내부를 향하여 진행하며, pH 11이하가 되면 철근에 녹이슬기 쉬운 상태가 된다. 녹슨 철근은 부피가 팽창하여 피복 콘크리트에 균열과 파손을 일으키며, 이로인하여 외부로부터 이산화탄소와 수분의 공급이 증가하게 되어 콘크리트의 중성화 속도가 가속화된다. 나아가 철근의 녹으로 인해 외력에 저항하는 철근단면적이 줄어들게 되어 단면 결손이 나타난다.

한편 이산화탄소와 수분이 침입하면 콘크리트 조직의 근간을 이루는 C-S-H(규산칼슘수화물)이 분해되어 탄산칼슘과 실리카겔로 변환됨으로서 수산화칼슘이나 C-S-H(규산칼슘수화물)이 가지고있던 탄소성적 성질을 잃어버려 매우 취약한 콘크리트 조직으로 변한다. 그러므로 콘크리트의 중성화는 콘크리트 조직의 노후를 촉진시키는 촉매역할을 수행하므로 보수보강공법 선정시 페놀프탈레인의 분무를 이용한 중성화 시험을 실시해야 한다.

그러나 콘크리트가 중성화하였다고 모두 제거할 필요는 없다. 위에서 설명한

바와 같이 중성화가 진행 중이라 할지라도 이산화탄소나 산소 및 물의공급을 차단할 수 있도록 콘크리트 표면을 차단하면 더 이상의 중성화는 진행되지 않는다. 따라서 중성화된 콘크리트가 일부 존재하여도 적당한 보수 및 보호 조치를 취하면 부식이나 조직의 노후 진행을 거의 방지할 수 있다.

한편 바다모래나 혼화재 등을 통해 콘크리트 제조시 자연적으로 염화물이 첨가 되거나 배수갑문과 같은 해양 콘크리트 구조물에서는 완성 후 해수와의 접촉 그리고 교량의 슬래브 등은 용설재용 염분에 의하여 염화물이 콘크리트 속에 침투할 수 있다.

자연적으로 투입된 염소이온 중 시멘트 중량의 0.4%까지는 시멘트 성분 중  $C_3A$ 와 반응하여 프리델씨염을 생성하며 고체 형태로 수화생성물 조직의 일부를 형성하게된다. 잔여 염분 중 일부는 콘크리트 조직 내의 세공용액 속에 액상으로 녹아있으며 다른 일부는 액상과 고체사이에 흡착되어 있다. 이러한 상태에서 대기중의 이산화탄소와 수분이 공급되면 프리델씨염은 이산화탄소와 결합하여 안정적인 탄산칼슘과 염화칼슘을 형성하며, 다시 염화칼슘은 물에 용해되어 염소이온을 유리하고, 유리된 염소이온은 콘크리트 조직의 내측을 향해 이동하며, 다시  $C_3A$ 와 반응 프리델씨염을 생성하고, 이산화탄소와 결합하여 염화칼슘을 형성한 다음 형성된 염화칼슘이 다시 물에 용해되어 염소이온을 유리하며, 유리된 염소이온은 내측을 향해 이동하여 위의 화학반응이 반복적으로 수행된다. 이와 같이 염소이온이 내부로 이동하여 농축됨에 따라 강한 알칼리환경(pH12)하에 조성된 철근의 부동태피막(수산화물,  $Fe_2O_3 \cdot 7H_2O$ )이 파괴되고 철근을 활성화 시켜 외부에서 공급된 산소에 의하여 철근의 부식이 촉발된다.

이러한 철근의 부식양상은 후천적으로 공급된 염화물에 의해서도 나타난다. 따라서 염화물에 의한 피해는 콘크리트의 수화조직을 중성화시키고 나아가 철근을 부식시켜 구조물의 노화를 촉진한다.

그러므로 염화물로 오염된 모든 콘크리트는 제거하는 것이 이상적인데, 그렇게 하는 것이 구조 부재의 완전한 제거 혹은 구조물의 해체를 의미하는 경우가 있다. 문제를 일으키지 않는 염화물 함유량의 한계값을 설정할 수는 없지만 미국 콘크리트 학회나 영국 건축연구소에 따르면 시멘트 중량의0.4%이하라

면 상당한 세월에 걸쳐 손상이 일어나지 않을 것으로 보고 있다. 실제로 염화물에 오염되어 문제가 생긴 콘크리트를 제거하더라도 부식의 가능성은 여전히 상존하므로 가능하다면 전위측정 기술을 이용하여 장래 부식될 가능성이 큰 부분을 확인하고 이러한 부분까지 쪼아 내고 보수하는 것이 좋다.

따라서 만약 철근이 콘크리트 속에서 부식되어 있으며 그 원인이 중성화나 염해로 인한 것으로 추정되는 경우에는 부식된 철근이 완전히 노출되도록 철근의 뒤쪽까지 충분히 쪼아낼 필요가 있다. 지름이 작은 철근의 경우에는 그 주위 전체를 노출시키고 의심스러운 경우에는 오히려 여유있게 콘크리트를 제거하는 것이 좋다. 그러나 철근 부식의 원인이 피복 부족으로 인한 경우라면 표면에서 좀 더 깊은 위치로 철근을 이동시키거나 콘크리트를 덧치기 할 필요가 있다.

부식된 철근을 보수하기 위해서 콘크리트를 제거한 경우 바탕 처리한 다음 인산염 같은 부식 억제제를 사용하는 경우도 있으나 이러한 재료는 경험이 있는 기술자가 시공하면 문제가 없지만, 전문가가 아닌 사람이 시공한 경우에는 보수재료의 부착에 유해한 영향을 주는 경우도 있으므로 주의하여야 한다. 한편 보수가 계속해서 실시되지 않는 경우에 신 콘크리트와 구 콘크리트의 부착력이 저해를 받으므로 부식 억제제는 철근에만 도장하고 콘크리트면에는 도장하지 않도록 해야 한다.

바탕처리과정은 세정, 절삭, 쪼아내기로 이루어지며, 방법은 대개 5가지 정도로 분류되고 있다.

산씻기는 저렴한 비용을 들여 효과적으로 시행할 수 있는 바탕처리법으로 산은 콘크리트 속의 알칼리 성분과 쉽게 반응하여 모르타 속의 잔골재 입자를 노출시켜서 신규 콘크리트 접촉면의 쪼기 작용을 하게 한다. 반응 종료 후에는 될 수 있는 한 빨리 깨끗한 물로 산을 씻어내어 바탕 불량률의 원인이 되는 염류의 생성을 방지해야 한다. 특히 레이턴스가 상당히 많은 경우에는 바람직한 마감을 얻기 위하여 산씻기와 세정작업을 다수에 걸쳐 수행하여야 한다. 넓은 면적을 처리할 경우에는 사용된 산의 폐액 처리에 문제가 있으므로 노후 부분을 쪼아낸 다음에 노출되는 바닥이외에는 적용하기 곤란한 단점이 있다.

동력 와이어 브러쉬는 주입보수나 표면 코팅 전에 콘크리트를 처리하기 위해

상당히 많이 쓰이고 있으며, 산씻기로 얻어지는 표면 만큼 깨끗하지는 않지만 균일성이 높아 비교적 요철이 적은 표면이 된다. 이 방법은 넓은 면적에는 권장하기 어려우며 작업에 상당한 시간이 소요되므로 간접비를 낮게 하는 것이 중요하며 소규모 작업에 적합하다.

블래스트는 콘크리트뿐만 아니라 다른 많은 재료의 바탕처리에 사용할 수 있는 기본적인 표면처리 수단이다. 작업이 빠른 반면에 소음과 먼지가 많이 발생하는 단점이 있다. 가장 널리 사용되고 있는 연마재는 모래보다 실리카 성분이 적은 구리 슬래그의 모래이다. 보통  $7\text{kgf/cm}^2$  정도의 압축공기를 사용하여 모래를 콘크리트 표면을 향해 분사시켜 콘크리트 표면을 타격한다. 이 방법은 구조물에 타격된 모래를 다시 모아야 하고 심한 연마로 인해 표면에 요철이 생기기 쉬운 결점이 있다.

고압세트수도 콘크리트 표면의 바탕처리를 위한 세정과 연삭에 사용된다. 이 방법은 젖어 있거나 수중에 있는 콘크리트에 사용되는 경우가 많으며, 표면에 요철을 남기기 위해 대개 모래를 넣어 분사한다. 고압세정이란 고압수를 전용 특수 노즐을 통해 분사하여 세정·절삭하기 때문에 이전에는 거의 불가능했던 에폭시계 수지의 절삭이나 콘크리트 표면을 거칠게 하기 등 폭 넓은 바탕 조정작업을 가능하게 하여주며 무엇보다도 값이 싸고 환경에도 해가 없는 물을 이용하는 것이 특징이므로 폐액의 처리가 필요하지 않고, 구체의 균열등의 손상을 주지 않으며, 콘크리트 표면의 취약해진 부분을 완전히 제거함과 아울러 세정과 동시에 연삭 청소도 할 수 있는 장점이 있다. 또한 노출된 철근의 녹을 제거하는 데도 이용 될 수 있다.

쪼아내기는 보수경계의 끝 부분이 예각 형태로 되는 것을 피하고 표면에 직각 또는 조금 안쪽으로 들어가도록 시행된다. 핸드 스캐블러와 니들건이 사용되고 있으나 국부적으로 오염 물질의 침투가 있는 장소나 콘크리트 표면의 열화 부분을 몇 mm 정도 깎는 경우에 한정된다. 기타 대규모 콘크리트 절삭에는 유압식 브레이커, 회전식 절삭기등이 사용되고 있다.

## 나) 주 입 공 법

### (1) 개 요

철근콘크리트 구조물은 설계, 시공시 콘크리트에 발생하는 균열의 폭이 대부분 표면에서 약 1mm를 넘지 않도록 설계 및 시공되지만, 많은 이유로 건설 또는 사용 중에 그 허용 범위를 초과하는 균열이 발생하게 되며 그러한 균열을 실링하거나 구조적으로 접착시키지 않으면 콘크리트의 성능저하가 발생하게 된다.

콘크리트의 균열을 보수하는 목적은 철근의 부식 방지, 구조물 전체의 일체성 개선, 콘크리트 내부로의 유해성 액체 또는 기체(특히 이산화탄소)의 침투를 방지하여 구조물의 내구성과 사용성을 증대시키려는 것이다.

주입공법은 콘크리트 구조물의 균열보수공법의 하나로서 일반적으로 콘크리트 구조물에서 응력에 문제가 없는 부분에 발생하는 균열의 진행을 방지하고 콘크리트 구조물의 일체화를 도모하기 위하여 균열부에 시멘트계 또는 수지계 재료를 가압, 감압(진공) 또는 압력 없이 주입하여 보수하는 공법이다.

한편 콘크리트 구조물에 나타나는 균열의 상태와 원인이 매우 다양하고 또한 복잡적이며, 아울러 보수보강을 위한 주입재료의 종류와 성질, 주입공법의 특성과 방법이 매우 다양하므로 효과적인 주입공법을 선정하기가 쉽지 않다. 따라서 주입공법을 결정하기에 앞서 이러한 점들을 충분히 파악하여야 하며, 다음과 같은 균열보수에 대한 기초개념도 고려할 필요가 있다.

- ① 균열에는 진행성 균열과 비진행성 균열이 있으며 이에 따른 주입공법이 각기 다르다.
- ② 눈에 보이지 않는 미세한 균열은 구조물의 내구성과 사용성에 거의 영향을 주지 않는다.
- ③ 철근에 직각방향으로 생긴 균열은 균열 진전에 거의 영향을 끼치지 않는다는 연구 보고도 있으나 오히려 그 반대라는 의견도 있다.
- ④ 균열부에서의 주입에 앞서 먼지, 이물질 등에 의한 틈막힘이나 오염, 수분 등을 제거하고 청소한 후에 시공해야 하며 주입이 확실하게 이루어졌는가의 여부를 확인하기가 어려우므로 시공관리에 철저를 기해야 한다.
- ⑤ 균열을 보수한 후에도 균열의 원인을 충분히 제거하지 못했거나 충분히 대비하지 않아서 균열이 다시 발생하는 경우에는 신축이음을 설치하는 것이 효과적일 수 있다.

⑥ 주입공법 등으로 균열을 채우려는 시도는 실패한 사례가 매우 많으며 오히려 콘크리트 표면 전체에 적절한 도막을 하는 것이 효과적인 경우가 많다.

비진행성 균열은 그 대부분이 설계시 고려하지 못하였던 우발적인 외력이 작용하여 생기는 것으로 콘크리트의 침하, 불리딩, 시멘트의 수화열, 콘크리트 이상 팽창, 건조수축, 시공이음부 처리의 부적합으로 인한 균열 등이 이에 포함된다. 이러한 균열을 보수할 경우 될 수 있는한 균열이 없는 당초의 상태로 회복시킨 다음에 균열을 고정시켜야 한다.

바닥과 같은 수평면에 발생한 폭 1mm 이상의 균열은 보통 시멘트계 주입재로 댄질 할 수 있다. 그러나 이 경우 균열은 콘크리트 내부로 진행함에 따라 가늘어지는 경향이 있으며, 표면에서의 균열폭은 미세할지라도 철근 위치에서의 균열은 넓을 가능성이 있다는 것을 고려하여야 한다. 미세한 균열이나 구조물 밑면과 옆면에 발생한 균열은 폴리머 주입으로 댄질 할 수 있다.

구조물 전체의 균열을 복구시키기 위한 보수나 수분이 필요한 경우에는 에폭시수지가 가장 많이 쓰인다. 보수의 목적이 철근 부식을 막는데 있는 경우에는 에폭시나 폴리에스테르보다는 값이 싼 폴리머를 많이 쓴다. 어느 경우나 수지는 증력으로 혹은 가압하여 주입할 수 있다. 그러나 진공주입을 사용하면 좀 더 효과적으로 침투시킬 수 있다.

진행성 균열은 주입보수 후의 변형에 대한 대책이 필요하다. 즉 진행성 균열의 보수는 균열 움직임의 대소보다는 변형이라는 관점에서 보수를 시행하여야 한다. 따라서 진행성 균열에 대한 보수는 비진행성 균열의 보수방법으로 사용하는 주입공법과는 차이가 나며 보수 방법상 실링공법과 거의 유사하다.

진행성 균열 보수에 일반적으로 사용되고 있는 에폭시수지는 100% 비휘발성이며 용제의 혼입을 금지하고 있으므로 수축되지는 않지만, 작업성을 위해 다소 혼입시키는 경우에는 주의해야 하며, 과도한 변형으로 인해 에폭시수지의 허용변형량(2%정도)을 초과하면 보수한 균열 부근에 새로운 균열이 발생하는 수가 많다. 따라서, 이 같은 균열에 대해서는 가소성의 에폭시수지를 사용하던가 신축이음 등 다른 공법을 검토할 필요가 있다.

또한 진행성 균열의 보수방법으로 설치하는 신축이음으로 I자형의 일반적 신

축이음을 설치한 경우 또 다른 균열이 이음근처에서 발생하는 경우가 자주 있으므로 큰 변형에 대응 할 수 있도록 T자형으로 설치하는 것이 바람직하다.

한편 수지주입 공법으로 균열을 완전히 채우는 경우에는 구조물의 열화를 방지하고 내구성을 유지하는 본래의 목적을 달성할 수 있지만, 균열발생 전의 강성과 강도로 회복되기는 어려운데 그 원인으로는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 현재 주입에 사용되는 수지의 강도는 일반적으로 높지만 탄성계수는 콘크리트의 1/10전후의 것이 많기 때문에 콘크리트 사이에 주입된 형태로는 완전한 강성을 바랄 수 없다.
- ② 내부의 미세한 균열때문에 완전한 주입을 기대할 수 없는 경우가 있다.
- ③ 주입시 균열에 먼지, 흙, 유리석회, 오염물질 등이 부착되어 있는 경우에는 콘크리트와 충분한 접착을 갖지 못하므로 구조체로서의 연속성, 특히 인장응력을 받는 부분의 역학적인 연속성의 복원을 기대하기가 곤란하다.

이와 같이 수지주입의 기대효과는 콘크리트 본래의 강성과 강도의 완전 회복은 곤란하지만 내구성과 사용성의 회복에는 어느 정도 효과가 있다는 것이 연구와 시공사례에서 밝혀 지고 있다.

## (2) 주입공법의 특성과 종류

콘크리트의 균열보수를 위한 주입공법의 종류에는 재료적인 측면에서는 시멘트계와 수지계로 분류되고, 공법적인 측면에서는 가압주입방법과 자동저압주입법 및 감압(또는 진공) 주입 법 등으로 대별된다.

### (가) 수지계 주입공법

수지주입공법은 대표적 주입공법으로서 30여년 전부터 균열보수에 사용되고 왔으며 초기에는 그리스 펌프를 이용한 수동식 주입법, 전동식 펌프에 의한 고압주입법이 주류였으나 관통하지 않은 균열에서는 재료를 속 깊이까지 주입하기 곤란한 점과 주입압력의 변화폭이 커서 오히려 균열을 확대시키는 등의 문제가 발생하여 최근에는 저압저속의 간편한 주입법과 일정 압력으로 넓은 범위의 균열부에 동시에 주입할 수 있는 새로운 장치가 개발 보급되고 있다.

수지주입공법을 적용할 때는 시공시기에 따른 수지의 사용가능한 시간 및 균열 폭에 상응한 점도를 갖는 재료를 선정하는 일이 중요하며, 수지의 점성에 따라서 균열에 충분히 주입할 수 없는 경우가 있으므로 주의를 요한다. 수지의 점도는 온도의존형이어서 고온에서는 낮고 저온일때는 높아지므로 수지의 점도는 통상 20 °C에서의 점도를 의미한다. 점도에 따라 저점도(500~1,000cps), 중점도(2,000~9,000cps), 고점도(10,000cps 이상), 마요네즈 또는 그리스 모양의 비유동성으로 구분한다.

수지의 사용가능시간은 작업시간 측면에서 길수록 좋지만, 초기강도의 발현이 늦어진다. 또한 기온에 따라 좌우되며 저온일 때는 길고 고온일 때는 짧아진다. 또한 화학반응에 의해 수지가 경화하며 주재료와 경화제를 혼합하면 발열하여 급속히 경화하므로 보수보강의 시공 규모에 맞추어 그 양을 조절할 필요가 있다. 보통 작업성을 해치지 않고 사용하기 위해서는 20 °C, 500g 혼합, 약 60분 정도가 가장 적합하다. 따라서 사용수지에 대해 용제량을 많게 하는 것은 점성을 작게 하고, 시공을 용이하게 하나 접착력의 저하를 가져와 소기의 목적 달성을 못하는 수가 있으므로 주의해야 한다.

구조응력에 의하여 발생한 균열의 보수에는 일반적으로 저점도 에폭시 수지 조성물이 사용된다. 저점도 아크릴수지 혹은 폴리에스테르 수지도 이용되지만 이들은 일반적으로 접착력이 약하고, 습윤 조건하에서 사용하기 위해 개발된 에폭시 수지계에 비하면 습도가 높은 환경하에서 접착성에 대한 신뢰성이 부족하다. 또한 물 등의 침투를 방지하거나 구조적이지는 않지만 확실한 접착을 하기 위해 균열의 실링이 요구되는 경우가 있다. 이러한 경우에는 특별히 배합된 저점도의 아트릴계의 수용성 폴리머 분산재를 주입하면 용액 속의 물은 서서히 콘크리트에 흡수되고 몇 회의 주입으로 균열부에는 작은 움직임에도 대응할 수 있고 내구성이 좋은 고무상태의 아크릴 수지로 충전된다. 이 재료는 폭 1mm까지의 좁은 균열의 실링을 위한 이상적인 재료라 할 수 있다.

수지주입공법의 기본원칙은 다음과 같다.

- ① 균열을 따라 차례로 주입하고 사용한 주입구는 밀봉한 후 다음 주입구로 이동하는 순서로 실시한다.

② 수직면, 경사면의 균열 주입은 가장 낮은 지점에서 시작하여 차례로 위쪽으로 이동한다.

③ 주입간격은 균열폭이 클수록 크게 하되 가능한 30cm를 넘지 않도록 한다. 또한 주입재료가 수평방향과 연직방향으로 동일한 속도로 침투한다고 보아 주입구의 간격을 균열깊이와 같게 배치하지만 실제로는 균열의 형태, 주입재료의 점도, 주입압력, 배면압 등에 따라 결정해야 한다.

④ 주입에 있어 경험요소가 매우 중요하다.

#### (나) 시멘트계 주입공법

시멘트계 주입공법은 통상 1mm 이상의 균열이 대량으로 발생한 부위에 적합하며 비진행성 균열의 경우 건조상태에서 시멘트를 도포하고 필요하다면 그 후 가볍게 물을 뿜칠하는 것으로 실링할 수 있다. 균열 폭이 2mm 이상인 균열에 대해서는 시멘트 풀을 이용한 주입이 바람직하다.

시멘트계 주입기계는 리시프리케이션 펌프나 로터리 펌프가 자주 이용되고 있다.

#### (다) 가압주입 공법

가압주입공법은 흔히 주입압력을 4~8kgf/cm<sup>2</sup> 또는 그 이상으로 가압하는 방법으로서 균열 폭이 0.5mm 이상되는 부위에서는 저압주입이나 중력주입에 비하여 경제적이며 또한 0.1mm이하의 매우 가는 균열에도 효과적인 것으로 알려져 있다.

특히, 가압주입법을 이용하면 에폭시 수지계 주입재료 0.5mm 정도의 매우 가는 균열을 완전히 충전할 수 있다. 다만 극히 가는 균열에 주입할 경우 수지가 침투할 때의 배면압이 중요하며 작업이 잘 되지 않을 경우 배면압으로 표면 실(seal)부분이 블록해지게 되고 충분한 주입을 할 수 없는 경우도 발생한다. 이들을 완전히 충전하기 위해서는 몇 분간 주입압력을 일정하게 유지해 두어야 하며, 이러한 경우 필요한 수지 주입량은 대단히 적으므로 주입 전에 많은 양의 수지와 경화제를 미리 혼합하면 수지를 낭비하게 된다. 따라서 대단히 가는 균열에 주입하기 위해서는 고성능 계량과 혼합장치 및 노즐이 설비된 특수장치가 필요하며 이러한 주입장비를 사용하여 한번에 극히 소량인 수지와 경화제를 혼합하면 보다 경제적인 주입을 할 수 있다.

1~2mm 폭의 균열을 보수할 경우 저점도의 주입용 수지를 사용할 수 없는 경우가 있다. 그 이유는 균열의 모든 출구를 실링 할 수 없으므로 수지가 쉽게 누출되어 균열을 충전 및 실링 할 수 없기 때문이다. 이러한 경우는 변성된 수지가 사용되는데 그런 수지는 저압력이라도 비교적 가는 균열에 쉽게 주입할 수 있으며 압력이 없어지면 바로 유동성을 잃는다.

에폭시수지 가압 공법은 가장 효율이 좋은 것으로 판단되는 균열부위를 선택한 다음에 균열부를 V자형으로 제거하고 파이프를 삽입하여 에폭시 수지를 주입하는 공법이다. 이 공법의 시공시 유의사항은 다음과 같다.

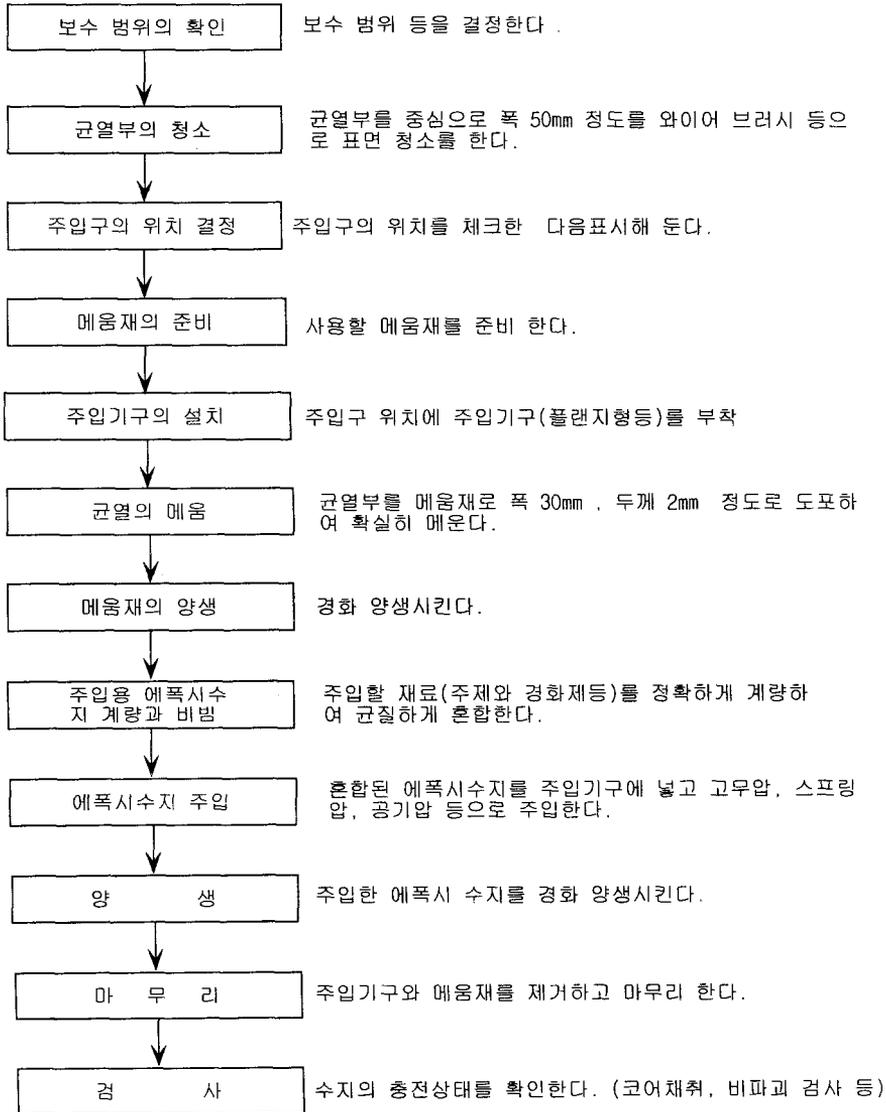
- ① 콘크리트 균열면의 마감은 보수효과의 양·부를 결정하는 중요한 요소이기 때문에 신중하게 시공하여야 한다.
- ② 균열속을 컴프레셔등으로 공기(상온 또는 가열)를 불어 넣어 균열 내부를 건조하게 청소한다.
- ③ 균열이 큰 경우에는 녹, 부착된 기름, 먼지 등을 가능한한 제거한다.
- ④ 곰보, 공동화 또는 중성화된 콘크리트는 제거하고 퍼티(putty)용 에폭시 수지 등으로 메운다.
- ⑤ 현실적으로 균열의 깊숙한 부분까지 녹, 기름, 먼지 등의 제거나 건조 그리고 청소를 하는 것이 불가능하므로 가급적 와이어 브러시 또는 그라인더로 깊숙히 정리한다.
- ⑥ 중고압으로 주입할 경우 균열 중심부와 주입 파이프의 중심부를 일치시켜며 주입용 파이프를 균열폭에 따라서 설치한다. V자형 홈을 팔 때 또는 주입 파이프 매입을 위한 드릴 천공시 콘크리트 분말에 의하여 균열 선단부의 틈이 막히는 경우 공기압 혹은 솔로 청소를 한다.
- ⑦ 균열이 교차하는 교차점에는 반드시 주입 파이프를 설치하는 것이 좋다.

#### (라) 저압주입공법

저압주입공법은 비교적 저압력으로 자동 주입하는 방법으로서 시공기술자의 경험이나 숙련도 그리고 균열폭에 따른 주입효과의 차이를 해소 할 수 있고 종래에는 주입이 어려웠던 0.1mm 정도의 미세균열에도 충분히 주입 가능한 공법이다.

저압수지주입공법의 기본 원리는 고무압, 스프링압 또는 압축공기 등으로 가압 가능한 압력용기(주사기 형태등)를 균열 1m당 3~4개소에 설치, 낮은 압력으로 오랜 시간 동안 수지를 주입하는 것이다.

저압 수지공법의 일반적 시공순서는 다음과 같다.



#### (마) 감압(진공) 주입 공법

감압 또는 진공주입법은 보통 수지주입공법의 보조방법이나 특수한 용도로 사용된다. 콘크리트를 관통하지 않은 균열에 가압주입법을 적용할 경우 충전된 균열의 선단부에 남아있는 공기가 주입을 방해할 가능성이 높으며, 한 장소에 많은 균열이 있는 콘크리트에서는 표면의 균열을 하나씩 실링하는 것은 실용성이 없고 비경제적이다.

감압주입법은 콘크리트의 손상 및 결함부분을 기밀한 덮개 등으로 씌운 후 감압하여 덮개 아래의 콘크리트 균열에서 공기를 빼낸 다음 수지 주입재를 균열이나 가는 구멍에 효과적으로 주입·함침시키는 방법으로 이를 이용하여 균열내부의 습기를 제거할 수도 있다. 다만 관통균열은 공기의 유입을 막기 위해 사전에 밀봉되어야 한다. 그러나 신축 이음부에 이 공법을 적용할 경우 신축기능을 방해할 수 있으므로 시공에 유의해야 한다.

감압주입법은 현장 상황에 맞는 적당한 정도의 주입과 진공의 정도를 선택할 수 있는 숙련공이 실시하여야 한다.

#### 다) 충전 공법

##### (1) 개요

충전공법은 콘크리트 표면에 균열, 박리 및 열화 등의 결함이 생긴 경우 그 결함부 주변을 중심으로 내부의 건전한 콘크리트 부분까지 제거하고, 수지계 보수재를 채워 내부 콘크리트를 보호하고 철근의 부식을 방지할 목적으로 실시하는 보수공법으로 일부에서는 퍼티공법으로도 불려지고 있다.

이 공법은 표면처리만으로는 불충분한 경우에 콘크리트 표면을 V 또는 U 자 형태로 절삭하여 충전시키는 공법으로 주로 0.5mm 이상의 비교적 큰 폭의 균열 보수에 적용하므로 주입공법과 병행하여 시행하는 경우가 많다. 이 공법은 주입공법과 같이 에폭시계 수지를 사용하는 경우가 많다. 시멘트계를 사용할 경우에는 건조수축과 결합력이 미흡하여 바탕 콘크리트 구조물과 완전한 일체화를 도모하기 어려우므로 인장응력이 작용하는 부분의 보수에는 피하는 것이 좋다. 이 공법은 철근의 부식상태와 누수의 유무에 따라 다른 보수방법이 적용된다.

##### (2) 철근이 부식되지 않은 경우

그림 5-62와 같이 균열부위 콘크리트를 약 10mm 폭으로 U 또는 V형으로 절삭한 부분에 실링재, 가소성 에폭시 수지 및 폴리머 시멘트 모르터 등을 충전해 균열을 보수한다.

U형으로 절삭할 경우에는 균열 양쪽을 커터로 자른 후, 그 사이의 콘크리트를 떼어내는 방법을 사용하였으나 최근에는 원추형의 다이아몬드 비트를 전동드릴 앞에 부착하여 균열을 따라서 홈을 내는 방법과 바닥균열에 적합한 별도의 균열커터기를 사용하여 홈을 내는 방법이 있다. V자형으로 절삭하는 방법은 작업이 간단하나 건조수축 및 접착면적 등에 있어 U자형을 채용하는 것이 바람직한 경우가 많다.

### (3) 철근이 부식된 경우

그림 5-62과 같이 철근이 녹슬고 부식된 부분을 충분히 처리할 수 있을 정도로 콘크리트를 떼어내고 철근 녹을 제거한 후 녹 방지처리, 콘크리트에 프라이어의 도포를 행한 후에 폴리머 시멘트 모르터나 에폭시 수지 모르터 등의 재료를 충전하는 방법으로 보수한다. 이 방법은 주로 철근이 부식되어 생긴 균열을 보수하여 콘크리트 구조물의 내구성을 회복하기 위한 보수방법으로서 여러 가지 재료나 공법이 고안되어 있다. 특히 발생된 균열의 진행성 여부에 따라 보수재료가 달라진다. 진행성이 없는 경우에는 젤 상태의 에폭시 수지(중량비로 에폭시 수지 : 규석분 = 1:2.5 ~ 3.5)나 저점도의 에폭시 수지 등을 균열 상태에 맞게 사용한다. 또한 진행성 균열의 경우에는 변형력과 신장력이 큰 탄성실링재나 가소성 에폭시 등을 사용하되 신축 변형에 효과적으로 대응할 수 있는 단면형상(T형등)으로 시공하는 것이 매우 중요하다. 부식된 철근의 보수에는 철근보수공법을 참고한다.

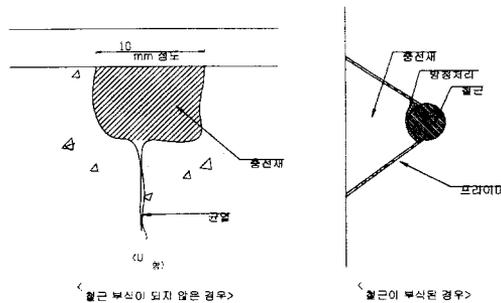


그림 5-62 충전 공법

누수 또는 용출수가 있는 경우 지수가 어려울 뿐만 아니라 누수부위 만을 단 순히 보수하여 물을 차단하여도 수압 때문에 보수한 부근에서 또 다른 누수가 발생할 수 있으므로 그림 5-63에 표시한 바와 같이 유도관을 설치하여 자연 배수를 시킨 후 적절히 보수하여야 한다.

즉 균열선을 따라 V 자형 (폭, 깊이 모두 50~70mm) 등의 홈을 낸 후 누수가 많은 홈선의 내부나 균열선 주위의 적당한 위치에 투수성 스폰지, 집수용 파이프와 유도용 호스를 매설한후 파이프 주변을 급결성 시멘트 모르터 등으로 임시 막아 놓는다. 다음에 몇 군데 설치된 파이프를 한 곳으로 모아 배수시킴으로써 균열부의 누수와 용수를 방지한다. 임시용 급결성 시멘트 모르터는 장기간의 수압에 견디지 못하므로 외부에 습윤용 프라이머를 도포한 다음 에폭시 폴리머 모르터 등으로 보완할 필요가 있다. 기타 자세한 내용은 누수 실링 공법을 참고한다.

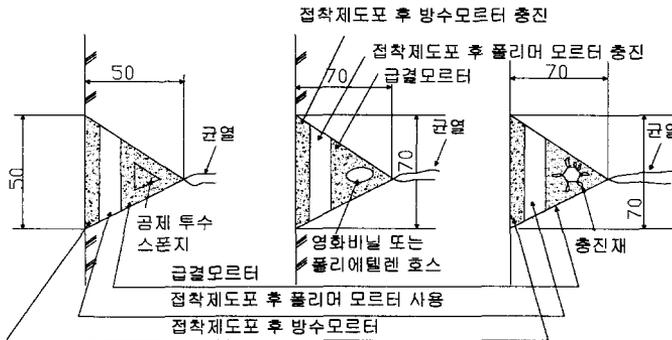


그림 5-63 누수중인 균열의 보수 공법

라) 실링 공법

균열이 계속 진행되는 징후를 보일 경우에는 보수 후 균열방지를 대비할 필요가 있다. 이러한 균열을 계획에 들어있지 않은 신축이음으로 간주하여 고정해 버리면 근처에 다른 균열이 발생하는 경우가 자주 있다. 이러한 경우는 균

열의 진행상황을 변형의 진행이라는 관점에서 고려하여야 하므로, 예상되는 최종변형보다 큰 값의 변형능력을 갖는 실링재 또는 실린트를 선택하여야 한다. 대단히 큰 균열은 예외이지만 균열폭 내에 모든 변형이 포함되었다고 생각되는 구조체에서 작은 이상변위가 추가적으로 발생하면 균열부위에 상당한 변형이 다시 발생되어 균열 보수재인 실링재의 변형 능력을 쉽게 초과한다. 따라서 과도한 이상변형에 대응할 수 있도록 재료와 신축장치의 형상 결정에 유의해야 한다.

실링공법의 대표적 방법은 충전공법과 같이 균열표면을 따라 흙을 내는 것이다. 추가적으로 발생하는 균열이 흙의 폭 전체로 퍼지도록 실링재는 흙의 길이방향으로 접착하고 밑바닥에는 접착하지 않는다. 이르기 위해서는 실링재를 시공하기 전에 밑바닥에 절연테이프등을 붙인다. 실(seal)의 폭은 그 성능에 따라 정한다. 중요한 것은 실린트에 전단력이나 인장력이 작용하는 경우 콘크리트 접착면에 상당한 응력이 발생하게 되어 심하면 실링재가 떨어지거나 콘크리트에 균열이 발생한다. 따라서 표면실링이 접착면에 과도한 부담을 주지 않도록 하여야 한다. 전형적인 신축이음의 단면도는 그림 5-64에 나타내었다. 그림 5-64에서 보듯이 (a)보다는 (b)가 변형에 대응할 수 있도록 개선된 형상이면 (c)는 접착길이가 흙 깊이의 2배이며 실링재의 폭은(w1)은 이음폭(W)의 2배로 과도한 이상변형에 유리한 단면형상을 갖고 있다.

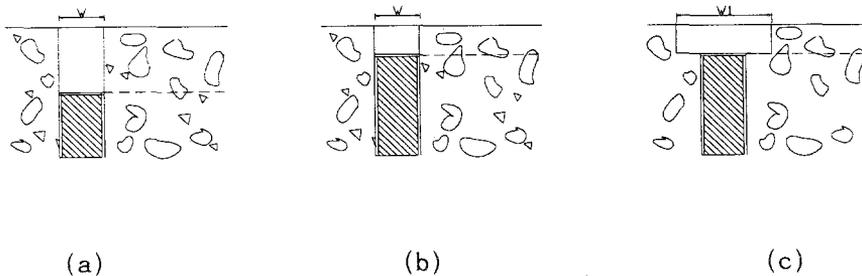


그림 5-64 신축이음부의 구조

실링재의 색상은 비교적 눈에 띄지 않는 것이 좋으나 균열이 진행할 가능성이 있는 경우 균열을 숨기기 위해 눈에 띄지 않는 색상의 실링재를 선택하는 것은 실용적이지

못하다.

한편, 실링공법에 사용되는 각종 실링재의 특징은 표 5-9와 같다.

표 5-9 각종 실링재의 특징

종 류	경 화 메카니즘	실링재 표면의 상태				
		먼지부착	침수성	균열	얇아짐	압입후 잔류 변형
실리콘 계	반응경화형	부착 심함	발 수	없 음	작 음	없 음
	습기경화형	부착 심함	발 수	없 음	거의 없음	없 음
변성실리콘계	반응경화형	부착 심함	젖 음	적 음	작 음	약간 있음
폴리설파이드계	반응경화형	부착 적음	젖 음	다 양	다소 있음	약간 있음
폴리우레탄계	반응경화형	다 양	잘 젖지 않음	많 음	다소 있음	없 음
	습기경화형	부착 적음	잘 젖지 않음	많 음	다소 있음	없 음
SBR 계	건조경화형	부착 심함	젖 음	많 음	많 음	압입에 약 함
아크릴 계	건조경화형	부착 심함	젖 음	없 음	많 음	압입에 약 함

마) 누수실링 공법

(1) 개요

콘크리트 구조물의 누수방지나 터널, 암거, 복통, 관로에서 나타나는 물의 침투와 유출에 대한 지수처리 공법으로서의 실링은 균형있게 대처해야 한다.

철근콘크리트는 완전한 수밀성을 갖고 있지 못하며 누수실링은 수지주입과 달리 물길을 완전히 차단한다기보다는 허용수준 내에서 누수를 억제하는 것이라 할 수 있다.

누수실링은 많은 비용을 수반하지만 효과적이고 경제적인 지수조치를 취할 수 있다. 따라서 아래의 해설과 같이 누수 개념을 새로 정립하고 종래의 지수 방법에 대해 충분히 이해하는 것이 누수실링공법의 성공 여부에 매우 중요하다.

- ① 콘크리트 구조물에서의 소규모 누수는 자연 치유되는 경우도 있는데 이는 누수를 따라 칼슘염이 축적되어 물의 통과를 방해하기 때문이다. 신설 저수탱크와 같은 구조물에서는 자연 치유되는 경우가 많으므로 누수의 상태를 당분간 관찰한 후 지수대책을 세우는 것이 바람직하다.
- ② 누수 가능성이 높은 콘크리트 부위는 건조속도가 느리며, 저수탱크에서의 수면 강하속도가 10mm/주 이상일 때는 누수의 가능성이 매우 높은 것으로 판단할 수 있다.
- ③ 대부분의 누수는 신축이음부나 균열부에서 발생한다.
- ④ 누수의 양을 결정하는 주된 요인은 수량, 수압, 누수 단면적이다.
- ⑤ 실제 누수의 물길은 겉보기보다 넓을 가능성이 있고 눈에 띄지 않는 경우가 있어 육안으로 노출된 부분만 보수할 경우 보수하지 않는 곳에서 새로운 누수가 시작 될 수 있다.
- ⑥ 누수원을 실링하면 모든 장소에서 일어나는 누수를 방지 할 수 있으며 물이 콘크리트 안에서 새로운 통로를 만드는 것을 방지할 수 있다.
- ⑦ 저수지나 탱크 등의 경우 물에 석회를 가하면 칼슘염 부착이 촉진되어 지수가 될 수 있다.
- ⑧ 탱크나 옥상, 옹벽 등은 물에 닿는 면의 누수부위에 대한 도장 만으로도 지수가 해결될 수 있다.
- ⑨ 점으로 새는 누수는 드릴로 구멍을 뚫고 거기에 물로 적신 단단한 나무 등을 박아 넣고, 이음부 누수에는 납솜(lead wool)이나 틈막이로 고안된 것을 이음매에 박아 넣는 것도 매우 효과적인 지수 방법이다.
- ⑩ 초속경 시멘트나 급결제를 사용한 시멘트 모르타르는 응급조치 등에 효과가 있다.
- ⑪ 지수의 마지막 수단으로 누수를 모아 배수처리 하는 것도 매우 중요하다.
- ⑫ 터널에서는 일반적으로 시멘트계가 널리 사용되는데 이 때 시멘트의 응결시간, 반죽질기 및 첨가제의 사용이 중요하다.

## (2) 실링방법과 재료

일반적으로 누수를 방지하기 위한 보수의 기본원칙은 가능한 한 콘크리트가

물에 닿아 있는 근원쪽에서부터 원인을 조사하는 것이 누수의 흐름에 대한 단서를 잡기가 쉽다. 그러나 물이 닿아 있는 쪽에서 접근이 용이하지 않은 경우에는 근원보다 하부쪽에서 접근하게되는 데 이러한 경우 실링재를 주입하기 위해 설치한 관에 물이 나오지 않도록 주위의 물의 흐름을 조정하는 것이 중요하다.

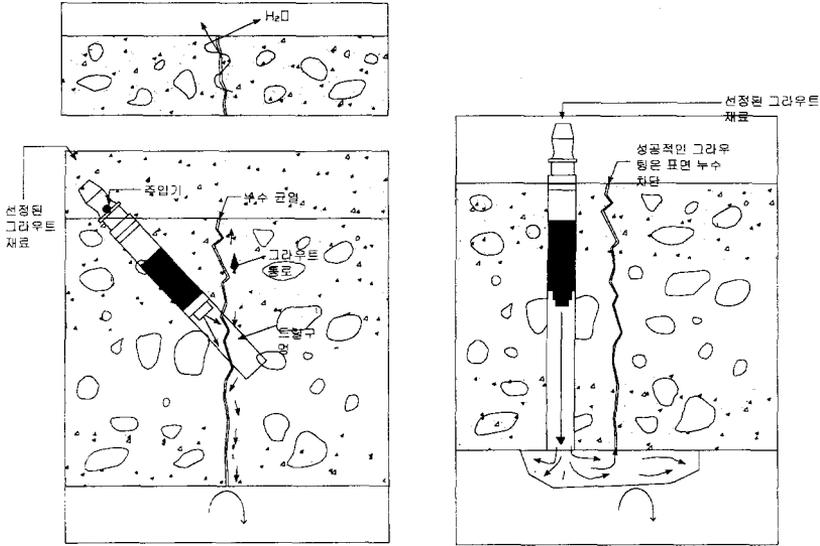
누수실링공법에서의 주입방법은 하부쪽에서 압력기울기를 주어 주입하는 직접 주입공법과 주입재를 수압이 작용하는 쪽에서 물의 흐름방향 즉 정수압에 따라 주입하는 간접주입공법이 있다.

주입구를 설치하고 그 사이의 누수는 메움재 또는 표면 붙임재를 띠 모양으로 발라 막는데, 직접주입공법은 사용범위가 넓고 성공사례가 많다는 장점이 있다. 시공상의 특징으로서 메움재는 물을 주입구로 모으는 작용이외에 주입재가 타 부위로 이동되지 않게 하는 기능도 있다. 따라서 직접주입공법으로 보수시 메움작업을 해 두어야 한다는 점과 그 메움재와 젖은 콘크리트사이의 접착력에 한계가 있으므로 주입압에 제한성(10kgf/cm<sup>2</sup> 정도 이하)이 있다는 문제점이 있으므로 접착력을 증가시키기 위해 접착면을 거칠게 해야 하는 등 표면의 바탕 처리가 매우 중요하게 되며, 물을 유도 배수관으로 모아 콘크리트의 표면을 가능한 건조시키기는 것이 중요한데 이 점은 보수기술자의 기술과 경험에 의존하는 경우가 많다.

이에 반해 간접주입공법은 정확하게 실행하지 않으면 오히려 상황이 악화될 수 있으나, 최근에는 전용 장비 및 재료가 개발되어 적용범위가 넓어졌으며 적절한 설계와 정밀한 시공이 될 경우 보수의 성공률이 상당히 더욱 높아지고 있다. 이 공법의 장점으로는 메움작업이 필요하지 않는 경우도 있으며, 대개의 경우 접착식 보다는 기계식으로 주입기구를 고정, 설치 하므로써 주입압을 높게 설정하여 실링의 효과가 물길 깊숙한 곳까지 골고루 미칠수 있고, 직접 주입공법에 비해 짧은 작업시간이 소요되며 완성도도 높다. 시공이음부를 통하여 새는 물은 서로 연결되어 있는 가는 균열의 틈을 타고 흐르는 경우가 많으므로 누수원을 실링하면 모든 장소에서 일어나는 누수를 방지할 수 있으며, 기존 물길의 차단으로 인한 새로운 물길의 발생 가능성도 차단할 수 있다.

그림 5-65는 누수실링 보수공법의 2가지 예와 누수부위의 그라우팅 방법을

나타낸 것이다.



a) 누수 중간 차단 공법      b) 누수 근원 차단 공법

그림 5-65 누수 실링 공법

누수 실링을 위해서는 적합한 실링재의 선정이 매우 중요하며 대표적인 재료에는 에폭시 수지, 폴리우레탄 수지, 아크릴 수지 등이 있으며, 각 재료의 특징은 다음과 같다.

에폭시 수지는 비교적 폭이 넓은 균열, 특히 벽면이나 바닥 상부의 균열에 적합하며, 바닥판 하부의 균열에는 적합치 않은 경우가 많다. 에폭시 수지를 이용한 실링의 단점은 수지가 경화하기까지 상당시간(보통 12시간)이 소요되어 이 시간 중에 물길이가 생길 수 있다는 점이다.

반면 폴리우레탄 수지는 습윤상태에 있는 벽면, 밀면, 바닥판 등의 0.2mm 이상의 균열에 주입하는데 적합하며, 이 수지는 물에 닿으면 발포하여 강도와, 유연성이 뛰어난 실(seal)이 되어 소규모 누수에서부터 대규모 누수까지 적용할 수 있다.

아크릴 수지는 미세균열에 적합하며 점도가 낮아 깊숙한 곳까지 침투한다. 이 수지는 벽면, 밀면에 발생한 습윤상태인 0.3mm 미만의 균열에 적합하며,

균열 내부에 존재하는 수분도 흡수하고 그 수분을 함유한 채 경화하여 유연성 있는 겔 상태가 되는 특징이 있다. 그림 5-66에는 누수실행공법과 함께 다양한 방수공법이 나타나 있다.

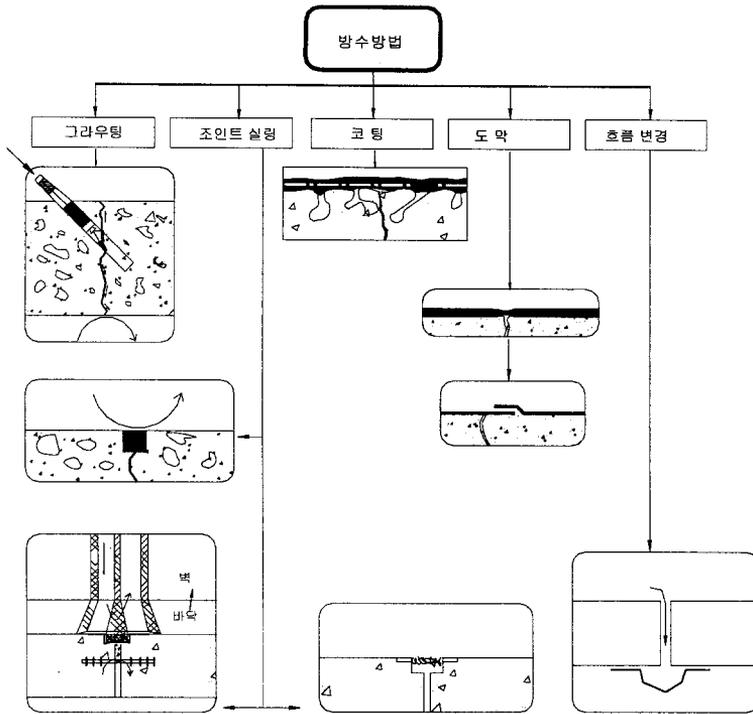


그림 5-66 다양한 방수 방법

## 바) 단면 보수 공법

### (1) 개요

단면보수공법은 통상 노후손상의 범위가 커서 철근의 매입깊이까지 진전되어 전반적인 또는 부분적인 콘크리트 부재단면의 보수가 필요한 경우에 적용되는 공법으로서 보수의 규모에 따라 소단면 보수공법과 대단면 보수공법으로 분류할 수 있다.

소단면 보수공법은 박리 또는 박락, 염해, 균열 분포, 중성화, 화재 등에 의한 부분적인 콘크리트 표면 노후손상에 대응하여 실시하는 보수공법으로서 패칭공법이라고도 한다. 대단면 보수공법은 보수재료의 양이 다량이고 손작업이나 뿔칠작업이 용이하지 못한 경우 주로 거푸집을 써서 콘크리트나 주입재를

충전하여 보수하는 공법을 말한다.

단면보수공법은 특정 부위에 발생한 손상이라 하더라도 소기의 보수 효과를 얻기 위해 손상을 입은 부위를 포함하여 건전한 일부 주변까지 범위를 확대하여 시행되며, 노후손상 부위를 건전한 재료로 교체하여 원래의 기능을 회복하는 공법이라고 할 수 있다.

## (2) 소단면보수 공법 (패칭 공법)

국부적인 박리 및 박락은 콘크리트 구조물이 받는 일반적인 손상으로 외력, 철근의 부식으로 인한 팽창압, 동결 팽창압 등이 원인이 되어 발생한다. 손상 원인이 무엇이든지 구조물의 보수에 앞서 바탕처리를 하는 것이 대단히 중요하다. 노후 손상부위는 물론이고 오염 부분 또는 중성화 부분과 같은 부위는 제거하는 것이 좋다. 제거해야 할 영역은 그 경계를 분명히 하기 위하여 5mm 정도의 깊이까지 커터로 칼집을 내되 끝 부분이 예각(feather edge)이 되는 것을 피하고 표면에 직각 또는 조금 안쪽으로 들어가도록 잘라내야 하며, 깊이를 최소한 10mm 정도로 하는 것이 좋다. 이러한 이유는 보수부위의 접착성을 좋게 하기 위한 것이다. 부식 철근에 대한 처리는 철근 방식 공법을 참고한다.

### (가) 보수 재료

보수 재료가 갖추어야 할 조건은 소요의 강도를 가지고 기존 콘크리트와의 부착이 양호하며, 타설 후의 경화 또는 건조수축이 적어야 한다. 또 콘크리트와의 열팽창계수의 차가 적고, 보수 후의 사용 환경하에서 내구적인 것이라야 한다.

대부분의 보수와 마찬가지로 보수재료를 선택하는 기본은 시멘트를 사용할 것인지 또는 합성수지를 사용할것인지의 선택이다. 두 가지 보수재료가 철근을 부식으로부터 보호하는 방법은 다소 다르나, 기본적으로 중성화 또는 부식성 물질의 침투를 막아 철근의 부식을 방지하는 것은 동일하다. 시멘트계 재료는 철근에 대해서 알칼리 환경을 만들어 철근 표면에 피막을 형성시키므로 철근의 부식을 방지하는데 반해 수지계 보수재료는 표면을 덧씌워 철근부식에 필요한 산소와 수분의 침투를 억제하여 철근을 부식으로부터 보호한다.

보수재료의 역학적 성질은 보수하는 구조물 재질의 역학적 성질과 될 수

있는 한 비슷하도록 하는 것이 바람직하며, 특히 시멘트계 보수재료를 사용할 경우 이것에 주의를 기울일 필요가 있다. 시멘트계는 수지계 보다 값이 저렴하나 보수비용의 대부분은 노무비가 차지하기 때문에 보수에 소요되는 재료비가 적다는 사실만으로 재료를 선정해서는 안된다. 일반적으로 수지계 보다는 시멘트계 보수재료에 익숙하여 보편적으로 이용되고 있으나 경우에 따라서는 수지계를 사용하는 것이 적절한 경우가 있다. 그것은 수지계 보수재료의 특성을 감안하여 적절히 배합함으로써 어느 정도까지 손작업이 가능하며, 경화시간이 짧아 작업시간에 제한을 받는 경우에 유리하고, 철근의 피복두께를 확보하기 위하여 부재단면을 확대하는 것이 곤란한 경우 얇은 피복으로 철근을 부식으로부터 보호할 수 있다는 장점이 있기 때문이다.

국부적인 단면결손의 복구에는 보통 시멘트 모르타 · 콘크리트, 속경성 시멘트 모르타 · 콘크리트, 폴리머(레진) 모르타, 폴리머 시멘트 모르타 · 콘크리트, 뿔철콘크리트 등 많은 재료가 사용된다.

이들 재료를 이용한 보수공법에는 여러 가지가 있는데 그 중 손반죽 공법은 대단히 얇거나 또는 작은 부분의 보수에 적합하다. 드라이 팩킹공법은 천장, 수직 및 수평면 등 모든 위치의 좁고 깊은 보수에 매우 적합하며 다른 보수공법의 구석진 곳이나 공극등의 마무리 방법으로도 적절하다.

드라이 팩킹공법은 슬럼프가 영이거나 영에 가까운 모르타(반죽 모르타) 또는 콘크리트를 여러층으로 나누어 다짐봉으로 다져 시공한다.

뿔철콘크리트 공법은 기설 구조물과의 부착이 양호하고 거푸집이 필요 없으며, 보 및 슬래브 하부면 및 터널 복공 등에서의 시공이 비교적 쉬운 이유로 보수에 이용되는 경우가 많다. 뿔철콘크리트는 보수 면적이 크고 보수층의 두께가 비교적 작은 부재, 예를 들면, 슬래브 아래면 또는 벽 등의 보수 혹은 덮개를 보충하는 데 적합하다. 바탕 처리는 모래를 이용한 샌드 블래스트가 효과적이며, 스프레이층은 1회당 2~5cm 정도가 좋다.

#### (나) 보수 공법

시멘트계 보수재료로 이용하는 경우 노출된 불건전 부위를 청소한 후 모든 표면에 접착층을 시공하여야 하며, 접착제가 마르기 전 습윤한 상태에서 보수 재료가 타설되어야 한다. 보수재 1회 시공두께는 보통 20mm를 초과하지

않도록 하고, 층마다 마감하여 직전 타설층이 충분한 강도를 달성하면 바로 시공한다. 시간을 두고 시공한 경우 접착성을 좋게 하기 위해 직전 보수재 타설층의 표면을 거칠게 하고 접착제를 바르는 것이 필요하다.

수지계 보수재료의 경우에도 사전준비 단계인 표면의 오염 및 비정상적인 부위의 제거 등과 같은 바탕 처리는 필수적이며, 새로운 노출 표면이나 철근은 바탕처리가 끝나면 가능한 빨리 초벌 바름이나 접착층을 시공할 필요가 있다. 수지계 보수재를 시공할 때는 프라이머에 접착성이 남아있는 동안에 겹바름을 해야하며, 각각의 층도 이전 층이 너무 경화하지 않은 상태에서 겹바름을 해야 한다. 시멘트계 보수재료의 급격한 건조는 시멘트의 수화반응을 정지시켜 수축 균열이나 표층 박리, 강도 부족의 결함을 낳게 하므로 보통 건조 초기에는 보호가 필요하다. 양생은 보수성의 재료로 습기를 유지하거나 폴리에틸렌이나 그와 유사한 천 등으로 씌워 끝 부분의 불량을 막는 것이 바람직하다. 햇빛은 시멘트계 재료에 급격한 건조를 일으키고, 수지계 재료에 너무 빠른 경화를 일으키므로 직사광선을 피하여야 하며, 불가피한 경우는 그늘을 만들어 줄 필요가 있다. 스프레이를 이용하여 양생막을 형성하는 방법은 모든 단면의 시공이 완료된 후 실시하여야 하며, 보수재 시공 중 층간에 사용할 경우 부착 불량을 일으킬 수 있다.

### (3) 대단면 보수 공법

대단면 보수공법은 단면 보수공법의 일종이므로 재료와 시공방법이 소단면 보수공법과 거의 동일하다. 다만 거푸집을 사용하는 경우가 많으므로 이에 따른 시공방법상 차이가 있게 된다.

대단면 보수공법으로는 거푸집을 사용하는 현장치기공법이나 펌프주입공법, 뿔철 콘크리트공법, 프리팩트 공법 등이 이용된다.

통상 콘크리트를 재료로 사용하는 경우 배합 설계는 보수의 규모와 장소를 고려해서 실시해야 한다. 콘크리트의 부어 넣기나 다지기를 위한 타설 및 주입의 여건이 용이하고 또한 최소한의 두께가 100mm 혹은 그 이상일 경우 최대 치수 20mm의 골재를 사용한 보통 배합을 사용할 수 있다. 그러나 얇은 단면으로 타설 및 주입이 곤란한 경우에는 유동화 콘크리트가 필요하게 된다.

대규모 보수공사에서 콘크리트 현장치기 공법은 그 양이 상당히 적은 경우를

제외하고 종래의 신설 구조물의 경우와 같다. 또한 리프트 두께 (1회 부어 넣는 높이)가 두꺼운 경우에는 바탕 콘크리트와의 사이에 온도 균열이 발생하기 쉬우므로 이에 대한 적절한 조치가 필요하다.

펌프주입공법은 거푸집안에 콘크리트나 모르터를 펌프로 주입하여 연직면 및 천장면을 보수하는 공법이다. 기존 바탕 콘크리트 표면에 밀착하여 유효하게 부착시키고 거푸집의 잔류공기를 배출시키기 위한 펌프압은 최소 1.0kgf/cm<sup>2</sup>로 하되 거푸집의 설계압을 초과하여서는 안 된다. 공기를 혼입할 가능성이 있는 표면은 제거하고 거푸집내에 공기 배기관을 설치하는 것이 좋다.

재료는 건조수축이 적은 것을 선정하는 것이 매우 중요하다. 주입순서는 낮은 위치에서 높은 위치로, 천장면의 경우는 한 끝에서 다른 끝으로 주입하며 거푸집내 주입구는 통상 수평으로 하되 90~120cm의 간격을 두어 격자상으로 배치한다. 넓은 면적의 보수는 칸막이 벽을 설치해서 부분시공을 하되 그 위치에 남길 수도 있다.

프리팩트공법을 이용할 경우 거푸집은 통상의 콘크리트 부어 넣기와 마찬가지로 설치할 수 있지만 거푸집 안은 굽은 골재를 먼저 충전한다. 그라우트는 골재 입자 사이의 틈을 채우도록 압입시킨다. 기포의 형성을 막기 위해 주입은 거푸집의 최하점에서 시작한다. 굽은 골재의 입도는 그라우트재가 골재 입자 사이를 자유롭게 유동할 수 있는 정도이어야 하며, 보통 20mm 혹은 그 이상 치수의 단일 입도의 골재를 사용할 수도 있다.

## 사) 철근보수공법

### (1) 적용범위

철근은 철근콘크리트의 기본 요소로서 철근콘크리트에 매설된 철근을 부식이나 오염 등으로부터 보호하고 청정한 상태로 유지하는 것은 콘크리트의 내구성과 구조적 내하력의 저하를 방지하는 중요한 과제이다.

일반적으로 시행하는 철근부식 부분의 보수는 절단부의 표면처리, 철근방청, 단면회복, 표면마감의 순서로 한다.

철근의 보수는 세척이 충분하지 않을 경우 보수 후 1, 2년 내에 효과를 상실하는 경우가 많다. 예를 들어 철근 전체 둘레의 50%이상이 부식되지 않았다고

철근 전체 둘레 콘크리트를 제거하지 않은 상태에서 부적절한 시공방법과 재료로 보수한 경우 1,2년내 효과가 상실된다.

따라서 철근 부식이 생기지 않은 상태라 하더라도 콘크리트의 상태에 따라 염화물 및 중성화된 콘크리트가 철근주변에 존재할 가능성이 높으므로 철근 보수시에는 가급적 주변 콘크리트를 없애는 것이 좋다. 철근 주변의 콘크리트를 없애는 또 다른 이유는 다음과 같다.

- ① 보수재료가 철근 주변을 비교적 균일한 전기화학적 환경으로 둘러싸도록 한다.
- ② 보수부분을 기존 바탕에 확실하게 부착되도록 한다.

#### (1) 시공방법

##### (가) 콘크리트 바탕처리

- ① 부식된 철근의 결함부 끝에서 부식되지 않은 철근이 적어도 75mm가 노출될 때까지 피복 콘크리트를 제거한다.
- ② 결함부가 독립되어 있어 패칭보수가 필요한 경우에는 결함부 주위 끝 또는 건전한 콘크리트 부분에서 적어도 300mm는 넓혀서 제거하며 표면에서 수직으로 절개한다
- ③ 부식철근이 노출되어 있을 때 부식철근 하부에서 아래로 2cm 이상 제거한다.
- ④ 부식철근 하부의 철근도 부식되었거나 또는 하부철근 주위가 손상된 경우 혹은 하부철근으로 인하여 상부 부식철근 아래의 콘크리트 제거작업이 어려운 경우에는 하부 철근 아래로 2cm이상 제거한다.

##### (나) 부식철근의 세정

- ① 철근과 보수재료의 부착을 좋게 하기 위하여 철근 녹을 제거한다.
- ② 철근 녹을 제거하는 방법에는 니들 스케일러, 동력 와이어 부러시, 블라스트, 핸드 스케블러 및 고압수 등을 이용하고 있다.

##### (다) 철근보호

철근은 신규로 타설된 양질의 콘크리트 환경하에서는 부식으로부터 보호를 받고 있지만 보수시에는 철근의 주위를 더욱 더 잘 보호하는 것이 바람직하다. 철근보호 방법은 보통 4종류로 나누어진다.

#### ① 피복

콘크리트 속의 철근을 부식전류로부터 절연하기 위해서 철근을 에폭시 수지로 피복하는 방법이 있다. 현장에서 철근을 피복할 때는 에폭시 수지를 스프레이로 뿌칠하거나 솔로 도포한다. 그러나 이 때 철근 교차부위나 철근 안쪽과 같이 도포가 불량한 부분은 오히려 이 부분에 부식전류가 집중되어 부식이 촉진될 가능성이 있음에 유의한다.

철근 부식의 근본원인은 전기화학적 반응이다. 따라서 노출 철근부 피복재료로서 비전도성 재료로 처리하면 그 주위에 국부전기가 형성되어 철근의 부식을 촉진하게 되므로 콘크리트와 전기전도성이 극단적으로 다른 방청처리재를 사용한다는 것에 대해서는 검토가 필요하다. 또 폴리머시멘트모르타르도 폴리머의 종류에 따라서는 철근의 부식을 촉진하는 것이 있으므로 충분히 조사하여 사용할 필요가 있다.

#### ② 음극보호/희생양극 (유전양극법)

희생양극법은 철근 대신에 금속을 희생시키기 위하여 금속(주로 아연)으로 피복하는 방법이다. 이 방법은 아연을 브러쉬로 철근에 발라붙여 시공하여 왔으나 최근에는 콘크리트 표면에 아연을 부착하여 희생표면으로서 사용하도록 하는 방법(캘리포니아 DOT)이 시험적으로 적용되고 있다. 이 방법은 콘크리트 표면을 완전 보수한 후에 설치하며 표면에 부착된 아연과 내부 철근을 전기적으로 연결시킨다.

#### ③ 음극보호/방식전류 (외부전원법)

방식전류법은 부식을 일으키는 전류를 반대로 흘러가게 하는 방법이다. 양극(외부전원)을 콘크리트 표면 혹은 표면부근에 설치하여 전기적으로 철근에 연결한 후 전류를 회로에 강제적으로 흘러 넣음으로써 철근을 보호한다. 한편 방식전류법은 주변 환경과 평형을 유지할 수 있도록 지속적인 관찰과 조정이 필요하다.

#### ④ 알카리 슬러리 피복

알카리 슬러리의 피복은 중성화되지 않은 콘크리트와 같이 철근의 부식을 방지한다. 이 방법은 철근과 부동태 충전재(알카리 슬러리)간의 결합재로서의 비부동태의 에폭시를 사용하기도 한다. 철근의 보호방법에 관해서 특히

유의해야 할 점은 철근보수를 부분적으로 실시하였을 때 보수하지 않은 부분이 오히려 보수하기 전보다 잠재적 부식가능성이 증가하는 경우가 있다는 점이다. 그림 5-67은 균열과 시공이음 부위에서의 철근 보수 절차이고 그림 5-68과 그림 5-69는 염화물과 중성화에 대한 철근 보수 대책이 나타나 있다.

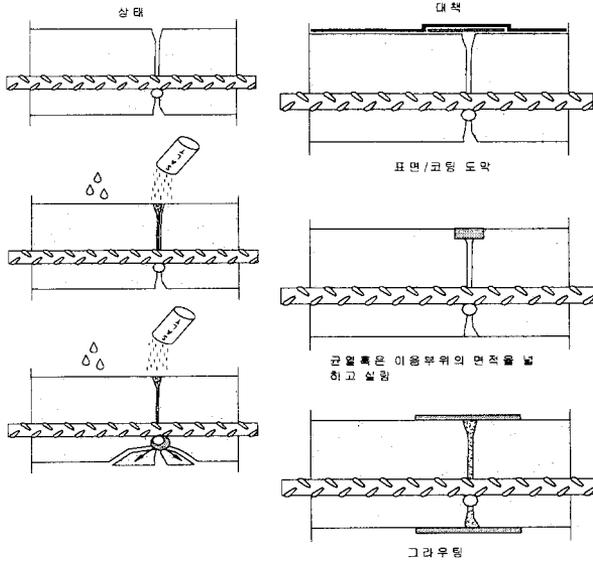


그림 5-67 균열 및 시공 이음 부위의 철근 부식 보수 대책

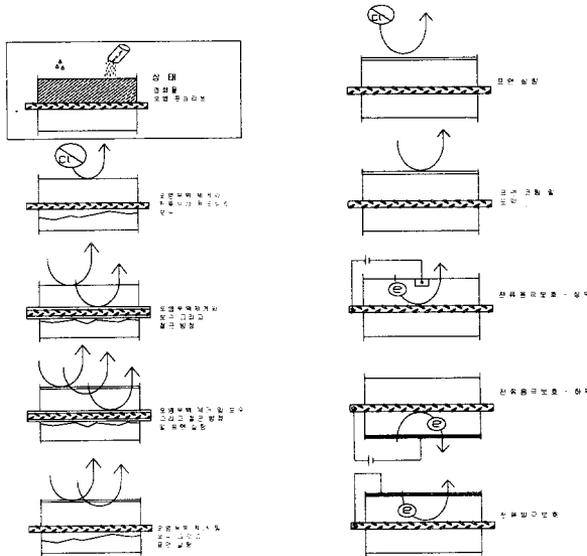


그림 5-68 염화물로 인한 부식 방지 대책

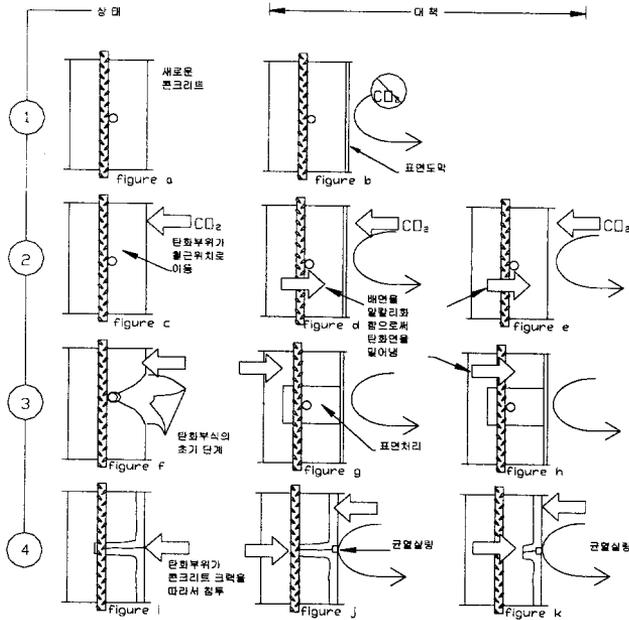


그림 5-69 중성화로 인한 부식 보수 대책

아) 표면보호 공법

콘크리트 표면은 사용 중에 지속적으로 외부하중과 각종 환경하중에 의한 노후로 손상과 결함이 발생하게 된다. 이러한 손상과 결함을 보수하기 위해서는 노후손상부분을 완전하게 제거한 후 단면을 복구해야하며, 필요시 환경하중을 완화 또는 정지시키기 위한 보호처리가 이루어져야 한다.

표면보호공법은 건설초기에 시공되는 경우도 있으나 사용 중에 보수·보강의 일환으로 노후손상부분에 대한 복구처리 후 후속 작업으로 이루어지는 경우가 많다. 즉 표면보호공법은 앞에서 기술한 균열보수, 단면보수의 2차 보호조치라 볼 수 있다.

이 공법은 보수의 목적과 방법 및 재료에 따라 다르므로 일반적으로 통용되는 명칭도 국내의 기술서적과 공법개발회사에 따라 여러 가지로 표현되고 있다. 주로 사용되고 있는 용어로는 표면처리 공법, 표면코팅, 표면라이닝, 표면피복 등이 있으며 시공방법상 약간의 차이는 있으나 콘크리트 표면을 보호

하고자 하는 주목적은 대동소이하다고 볼 수 있다.

특히 코팅과 라이닝 차이는 용어상 차이가 있으나 시공방법상으로는 국내외에 있어 특별한 구분을 두지 있지 않다.

표면보호공법은 보호방법에 따라 콘크리트 표면에 폴리머를 함침시켜 보수 및 보호하는 함침공법과 콘크리트 표면을 폴리머로 코팅 또는 라이닝하는 도막 공법, 시트로 접착하여 보호하는 시트공법으로 대별될 수 있다.

#### (1) 함침(침투식)공법

폴리머 함침 공법은 기설 구조물의 넓은 표면이 주로 노후 손상되어 보수·보강을 요하거나 신설 구조물의 표면을 특별히 강화하기 위하여 침투성이 뛰어난 폴리머 함침재를 콘크리트 표면에 함침시켜 바탕 콘크리트의 재질과 성능을 개선시키기 위한 것으로서 통상 완전함침과 부분함침으로 구분된다

이 공법은 주로 콘크리트 블록이나 야외 조형물 등 콘크리트 공장제품에 이용되어 왔으나 최근에는 콘크리트 교량의 바닥판이나 중공업 공장의 바닥 보수에 모체 함침 방식이란 이름으로 적용되는 사례가 늘고 있다.

특히 교량의 보수에 사용되는 재료에는 실란과 아크릴계 수지가 있으며, 실란은 미국연방 도로국에서 동결방지제의 피해방지용으로 성과가 입증되었으며 함침후 습기의 존재하에서 콘크리트의 주성분인 규사와 결합하여 그 구조와 수명이 매우 안정적인 반면 아크릴계 수지는 함침효과가 매우 뛰어난 것으로 알려져 있다.

폴리머 함침 공법의 콘크리트 함침성능은 100mm 정도로 알려져 있으며, 이에 대한 시공방법은 콘크리트 공장제품의 경우 주로 저압 비분무식 스프레이나 브러시 또는 칫지의 방법으로 제조되는 반면 콘크리트 바닥 등의 현장 보수에는 고압 에어리스 스프레이 방식으로 시공되는 경우가 많으며 진공함침의 방법을 도입하여 함침효과를 높이기도 한다. 한편 이 공법은 함침재의 함침작업으로 보수를 종료하기 보다는 방수, 도색 등의 도막공법을 추가하여 최종 마감되는 경우가 많다.

#### (2) 도막 공법

도막공법은 화학작용, 누수, 염해, 동결융해, 알카리 골재반응, 마모작용등에 의하여 손상된 콘크리트 표면을 보수한 후에 주로 폴리머로 코팅 또는 라

이닝등으로 보수하는 공법이다.

코팅재는 보호의 목적에 따라 재료의 종류가 다양하고 새로운 재료가 계속 개발 보급되고 있어 적합한 재료를 선정하기가 매우 어렵다. 따라서 콘크리트의 보수목적에 적합한 코팅재의 바른 선택이 중요하다.

중성화 방지용 코팅에는 염화고무나 폴리우레탄 수지, 아크릴 분산재가 기본이 되고 있다. 이들은 원래 이산화탄소가 콘크리트속으로 확산되는 것을 막기 위해 사용되고 있는데 염화물 용액의 함침도 억제하거나 저지시킨다. 대개의 경우 중성화방지 코팅은 습기의 자유로운 통과가 허용되므로 반드시 불투수성 재료를 사용할 필요가 없다. 다만 오래 동안 효과적인 공용기간이 요구되는 경우의 코팅은 충분한 바탕 처리가 필요하다.

내산 코팅은 발전소나 제철소등에서 발생하는 이산화황과 같은 산성 기체 또는 산성비와 같은 산성 액체로부터 콘크리트의 침식을 방지하기 위하여 시공되는 것으로 내산성과 아울러 침식조건에 잘 견디고 높은 화학 저항성도 지닌 코팅 재료의 선정이 필요하다. 보통 2액형 폴리우레탄 코팅은 비교적 약산성에 잘 저항하면서도 막의 습기 투과성을 유지한다. 극단적으로 부식하여 연속적인 막을 형성하기가 곤란한 환경에서는 두꺼운 막형 에폭시 도료가 바람직하다.

콘크리트 균열에 물이나 이산화탄소가 함침 하는 것을 막기 위해 부분적으로 균열부를 코팅하기도 한다. 이러한 방법으로 보호되는 균열은 보통 아주 미세하며 구조적으로는 중요한 의미가 없고, 진행성 균열을 수지 주입으로 보수하는 것은 새로운 균열이 다시 발생하기 쉬우므로 바람직하지 않다. 이런 종류의 보수를 위하여 코팅에 필요한 것은 균열에 대응할 수 있는 유연성을 갖는 것이다. 두꺼운 막형의 폴리우레탄이나 에폭시-폴리우레탄이 이러한 용도에 사용되어 효과를 거두어 왔다. 그림 5-70은 유해 성분에 대한 표면 보수 대책이 나타나 있다.

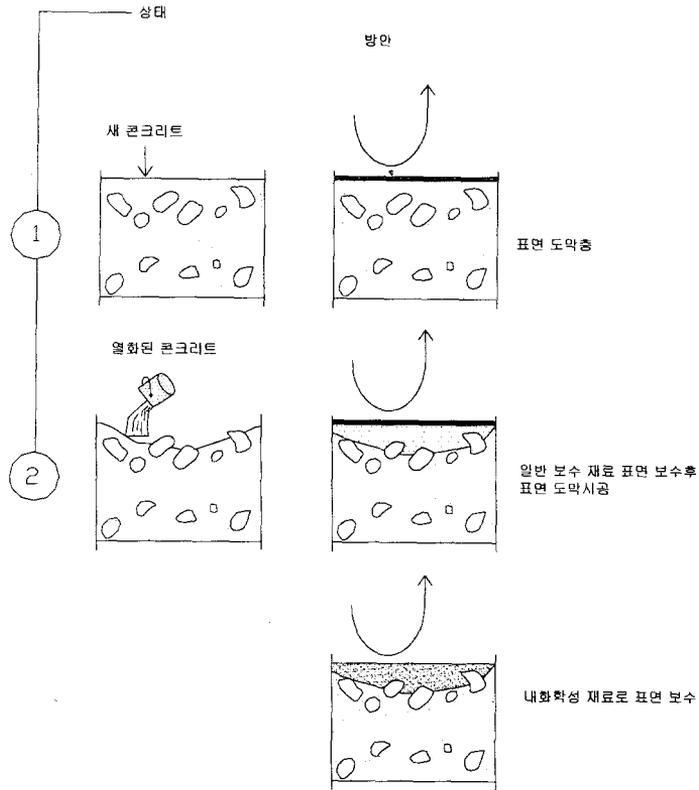


그림 5-70 유해 성분에 대한 표면 보수 대책

다음 표 5-10에는 코팅제의 종류와 용도가 나타나 있다

표 5-10 코팅제의 종류와 용도

결 합 재	경 화 메커니즘	도료의 분류	건조 막 두께	적 용 예
2액형 에폭시 수지	경화제와의 반응	용 제 형	0.020~0.250mm 15mm 이하 0.040~0.120mm	내마모 도료, 바닥재, 음료수나 내약품용의 탱크라이닝 마감재 건축용 파이프 라이닝이나 표면 흠손 바름재 유해한 용제를 함유하지 않는 중간 점도의 코팅, 바닥재
2액형 폴리우레탄 수지	경화제와의 반응	용 제 형 무용제형	0.025~0.075mm 0.500~2.00mm	탄산화 방지 코팅, 고광택이고 세정성이 있는 내약품의 내용제 용 마감재, 낙서방지코팅 튼튼한 바닥재
1액형 폴리우레탄 수지	대기중의 습기와 반응	용 제 형	0.125~2.00mm	바닥재나 미끄럼 방지 마감 코팅
에폭시 폴리우레탄 수지	범용 경화제와 반응	용 제 형	0.100~0.250mm	두꺼운 막형 탄산화 코팅과 균열 추종이 가능한 유연한 코팅
비닐 수지	용제 증발	용 제 형	0.025~0.070mm	내용제성이 요구되지 않는 열화 상태의 내약품 코팅
염화 고무	용제 증발	용 제 형	0.100~0.300mm (배합과 용도에 따른다)	저온에서 하는 탱크라이닝용 탄산화방지 코팅으로, 특히 세정 등이 필요한 경우
아크릴/라텍스 에멀션	수분 증발	수 용 성	0.100~0.700mm	특히 색채 안정성이 좋은 탄산화방지 코팅이나 내자외선성이 좋은 옥상 코팅, 균열 추종성 코팅
스틸렌 용해형 폴리에스테르 수지	과산화물 촉매에 따른 부가중합	무용제형 (소량의 스틸렌은 증발한다)	1.5mm이상 (유리무게에 따른다)	유리 섬유 이외의 재료용, 판보강용 라이닝으로, 탱크나 맨홀이나 파이프 용도, 매우 높은 내약품성을 가지고 있다.

#### 자) 동해 손상에 대한 보수 공법

외부에 노출된 콘크리트 구조물의 내구성은 동해에 대한 저항성으로 주로 결정된다. 비 등질성 조직을 가진 콘크리트의 동결과 융해염으로 인한 동해작용 과정은 매우 복잡하고 콘크리트 구조물의 시공 및 구조적인 결함은 이러한 동해현상을 더욱 심화시킨다. 따라서 동해에 의한 콘크리트의 손상을 억제 예방하기 위해서는 손상형태, 콘크리트 조직 및 물리적인 현상에 문제의 초점을 맞추어야 한다.

세심한 주위에도 불구하고 콘크리트가 심한 동해를 입었다면 손상된 부위를 Impregnation이나 덧씌우기를 하여 지속적인 동해에 대해서 보호할 수 있다. 물론 이런 보수작업시 중요한 것은 기층 콘크리트의 양호한 품질, 즉 충분한 밀도, 강도 및 내동해성이다. 기층 콘크리트 표면은 Sand Blasting 이나 Water-Sand Blasting 방법으로 철저히 면처리를 하여 손상된 부위와 미세 모르타층이 제거되어야 한다. 부식된 철근은 노출시켜 녹을 제거하고 방청도장을 해야 한다.

만일 단면재생을 위해서 모르타르를 바를 경우에는 Consistency에 세심한 주위를 하여 Shrinkage 균열이 발생되지 않도록 해야한다. Impregnation 작업으로 공극은 흡수성이 약화되어 수분이나 염분액 침투가 억제되므로 콘크리트 표면의 내동해성이 향상될 수 있다. 콘크리트 표면 전체를 치밀한 재료로 덧씌우기 하면 수분이나 염용액 침투가 방지된다. 사용되는 재료는 Polymer나 Polymer-Modified Cement Mortar가 있고, 덧씌우기 전에는 항상 면처리 작업을 하여 기층과 덧씌움 재료의 접착이 양호하도록 해야 한다.

콘크리트의 내동해성 향상을 위해 덧씌움 재료는

- (1) 내구성이 있어야 하고,
- (2) 콘크리트와 접착성이 좋아야 하고,
- (3) 폭 0.3mm까지의 균열변형에 무리없이 견뎌야 하고(높은 변형성),
- (4) 실제 현장조건 하에서 적용가능 해야하며
- (5) 보수·재생이 간단해야 한다.

그림 5-71과 72에는 동해 손상에 대한 보수 공법이 도시되어 나타나 있다.

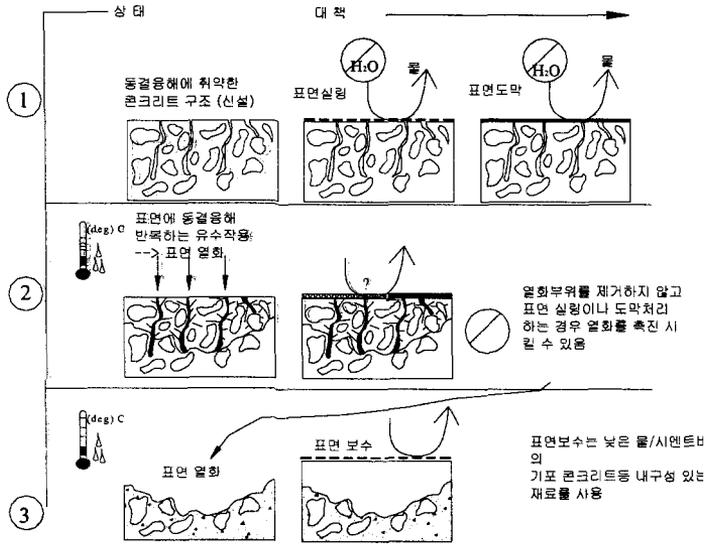


그림 5-71 동결 응해 손상 콘크리트 보수대책 I

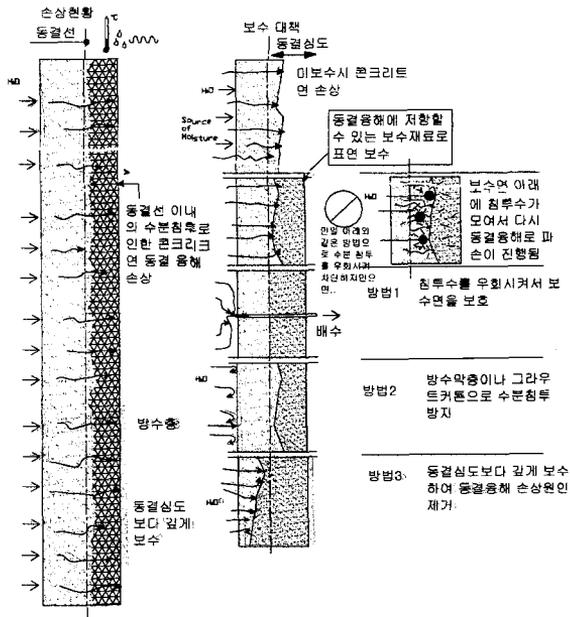


그림 5-72 동결 응해 콘크리트 보수 대책 II

## 2) 구조물별 열화별 보수·보강공법 DB

표 5-11에는 농로교와 수로교에 적용할 수 있는 교량 보수·보강 공법이 구조 부위별 손상 및 열화 종류별로 손상코드와 함께 적용목적에 따라 나타나 있다. 구조 부위별 열화종류에 대한 손상코드는 표 5-12에 나타나있다. 구조물 중 가장 복잡한 교량에 대하여 부재별로 손상 및 노후화 형태에 따른 210여개의 보수·보강 공법이 수집 분석되고 개량되어 농로교와 수로교뿐만 아니라 다른 농업구조물의 경우에 있어서도 부재별 손상 및 노후화 형태에 따라 적절한 보수·보강 공법을 선택 할 수 있게 하였다. 각 공법의 용도 및 목적 그리고 설계 및 시공방법은 공법별로 파일에 저장하여 System 체계에 연계하였다. 또한 부재수가 적은 단순한 농업구조물의 경우에도 부위별 손상 및 노후화에 따라 보수·보강 공법을 선택할 수 있도록 DB체계를 구축한다. 여수토와 용수 개거의 경우 손상 및 노후화에 따른 보수·보강 공법이 표 5-13에 나타나 있고 수로 터널에 대해서는 표 5-14에 나타나있다. 표 5-15에는 많이 적용되는 교량 보수보강공법과 그 공법의 개요가 나타나있고, 표 5-16에는 구조부위별 손상 등급이 결정된 후의 등급별 대책과 보수보강 공법 선정 기준이 나타나 있다.

농업구조물의 보수·보강 공법에 대한 공법별 자재 및 인력 단가는 표 5-17에 한 예로써 나타나있는데, 농로교 및 수로교 그리고 여수토 및 용수 개거의 균열 및 누수 방지 그리고 내하력 증대에 많이 적용되는 에폭시 주입공법, 강판 접착 주입공법, 박층 오버레이 공법, 그리고 탄소섬유 보강 공법에 대한 자재 및 인력 단가의 DB이다.

보수·보강 공법의 DB 체계는 각 구조물에 대하여 부재 혹은 부위별 손상 및 노후화 형태에 따른 손상 코드 분류표(표 5-12) 그리고 손상코드와 보수보강 공법 연계 (표 5-11)에 의하여 구성되고, 최종 적정 공법의 선정은 표 5-16의 구조부위 손상 등급 판정에 따른 선정기준에 따른다. 전체 보수보강공법 선정 체계는 농로교를 대상구조물로 그림 5-73에 나타난 것과 같은 체계로 구성되어 있다.

표 5-11 공법 및 손상코드 연계-교면포장(01)

공법번호	공법명	손상코드	적용목적
01-1	아스팔트 표면처리공법	(01)-502, 503, 504	부분적인 결함 다수발생시
01-2	아스팔트 팻칭 공법	(01)-501,502, 503, 504	작은 면적 손상
01-2-1	가열혼합식 방법	(01)-501,502,503,504	대형차량 다량 통행시
01-2-2	상온혼합식 방법	(01)-501,502,503,504	대형 교통하중 도로 비적합
01-2-3	구스 아스팔트 공법	(01)-501,502,503,504	대형차량 통행도로
01-3	아스팔트 실링 공법	(01)-502	포장균열 대책
01-4	아스팔트 플라쉬 공법	(01)-502	플라쉬 대책
01-5	아스팔트 절삭공법	(01)-503	요철 대책
01-6	절삭 오버레이 공법	(01)-501,502,504	균열, 소성변형 대책
01-7	아스팔트 오버레이 공법	(01)-501,502,504	파손상태 심한경우
01-8	Hexa Lock 공법	(01)-999(연속화)	연속화
01-9	교체 또는 재포장공법	(01)-501,502,504	재포장
01-10	시멘트 콘크리트 표면처리 공법	(01)-101,102,104	국부적인 균열등
01-11	시멘트 콘크리트 팻칭 공법	(01)-101,102,104	팻칭 대책
01-11-1	시멘트계 재료에 의한 팻칭	(01)-101,102,104	양생기간 필요
01-11-2	아스팔트 재료에 의한 팻칭	(01)-101,102,104	아스팔트 포장의 가열혼합식 방법과 유사
01-11-3	수지계 재료에 의한 팻칭	(01)-101,102,104	공사비 높음
01-12	주입 또는 실링 공법	(01)-104	포트홀이나 공동대책
01-12-1	아스팔트 주입 공법	(01)-104	조기소통 대책
01-12-2	시멘트 주입공법	(01)-104	양생기간 필요
01-13	시멘트 콘크리트 오버레이 공법	(01)-101,102,104	균열, 파손대책
01-14	시멘트 콘크리트 리플렉션 균열 제어 공법	(01)-101	균열 대책
01-15	시멘트 콘크리트 교체 또는 재포장	(01)-104	재포장
01-16	시멘트 콘크리트 블로업의 수리	(01)-104	블로업 대책

표 5-11 공법 및 손상코드 연계-배수시설(02)

공법번호	공 법 명	손 상 코 드	적 용 목 적
02-1	배수시설의 보수공법	(02)-104,601,602,605	배수시설 보수
02-2	교면배수장치의 교체보수	(02)-104,601,602,605	교 체

표 5-11 공법 및 손상코드 연계-난간·연석(03)

공법번호	공 법 명	손 상 코 드	적용목적
03-1	난간의 보수 공법	(03)-101,102,104,201 ,301,302,304,404	난간보수
03-2	도막방수에 의한 난간의 보수	(03)-101,102,104,201	콘크리트 난간보수
03-3	콘크리트 난간의 코팅 및 단면보수재에 의한 보수	(03)-101,102,104,201	콘크리트 난간보수
03-4	난간의 주입공법	(03)-101	균 열
03-5	콘크리트벽 난간의 보강	(03)-101,104,201	보 강

표 5-11 공법 및 손상코드 연계-상판(04,05)

공법번호	공 법 명	손상코드	적 용 목 적
04-1	수지주입 공법	(04)-101.104	균열
04-2	그라우트 주입공법	(04)-101	균열
04-3	교면방수 공법	(04)-101.104.201	방수
04-4	강격자 상판위의 누수방지공법	(05)-103	누수방지
04-5	합성수지 모르타르에 의한 방수층의 시공	(04)-102.104.201	방수
04-6	FRP 접착공법	(04)-101.102.104	보강, 내하력 증대
04-7	강판접착 공법	(04)-101.102.104	내하력 증대
04-7-1	압 착 법	(04)-101.102.104	"
04-7-2	주 입 법	(04)-101.102.104	"
04-7-3	광폭방법	(04)-101.102.104	"
04-7-4	단책방법	(04)-101.102.104	내하력 증대
04-8	중형 증설 보강방법(Stinger 공법)	(04)-101.102.104	"
04-9	Under Deck Pannel에 의한 RC 상판의 보강공법	(04)-101.102.104	보강 공법
04-10	세로트러스 증설에 의한 상판보강공법	(04)-101.102.104.201 (05)-103	보강, 균열대책
04-11	모르타르 뿔칠에 의한 상판보강	(04)101.102.104.201 (05)-103.202	내하력 증대
04-12	박층 오버레이 공법	(04)-101.102.104	"
04-13	SRFC에 의한 상판 증후공법	(04)-101.102.104 (05)-202	상판하면 보강
04-14	상판의 하면 증후공법	(04)-101.104 (05)-202	"
04-15	RC상판의 재시공	(04)-101.102.104 (05)-202	일부 또는 전체
04-16	I형 강격자 상판에 의한 상판교체	(04)-101.104.201 (05)-202	"
04-17	I형 강격자 프리캐스트 상판에 의한 교체	(04)-101.104.201 (05)-202	"
04-18	프리캐스트 합성상판(콤비네이션 슬래브)에 의한 상판교체 공법	(04)-101.104.201 (05)-202	"
04-19	교통 개방하에서 합성형교의 상판교체	(04)-101.104.201 (05)-202	"
04-20	강상판으로의 교체 공법	(04)-101.104.201 (05)-202	교 체
04-21	BZ 공법(상판절삭공법)	(04)-104, (05)-103	
04-22	시멘트텍스 RB 공법	(04)-104.201 (05)-103.202	
04-23	응당처리 공법	(04)-104	상판 구멍
04-23-1	복공판법	(04)-104	"
04-23-2	패칭공법	(04)-104	"
04-23-3	지보공 공법	(04)-104	"
04-24	시공불량 상판의 파손에 대한 외케이בל 보강	(04)-104	

표 5-11 공법 및 손상코드 연계-콘크리트 상부구조(06, 07, 08)

공법번호	공 법 명	손 상 코 드	적 용 목 적
05-1	미세균열의 표면처리 공법	(03).(04).(05).(08).(14).(16)-101	미세균열, 방수, 내구성
05-2	단면보수공법(모르타르 팻칭)	(03).(04).(06).(07).(15).(16)-102.104.(14)-104	보수단면이 적은 경우
05-3	PC박스거더의 복부 수평균열 대책	(06)-101. (07)-101	미세균열
05-4	ASG(아리소프트)공법	(03).(04)-101.102.104 (06).(07).(08)-101.102.104. (16)-101.102.104	열화방지
05-5	AWS(아리워티스톱)공법	(03).(04).(06).(07).(08).(16)-101	염분재거, 동결융해, 방수, 아스팔트 포장, 상판, 열해
05-6	주입공법	(01).(03).(04).(06).(07).(08).(14).(15).(16)-101	균열부, 역학적 연속성 없음
05-7	자동식 저압수지 주입공법	(01).(03).(04).(06).(07).(08).(14).(15).(16)-101.104	미세균열 포함, 자동식 균열 주입
05-8	그라우트 주입공법	(01).(03).(04).(06).(07).(08).(14).(15).(16)-101	미세균열, 구조일체화 가능, 상판
05-9	퍼티 공법(충전 공법)	(04).(06).(07).(08)-101.102.(06).(07)-206.207	바리, 열화, 철근부식방지, 구조일체성 없음, 인장용력부 사용불가
05-10	프리팩드 콘크리트 공법	(03).(04).(06).(07).(08).(15).(16)-104.(06).(07)-203.206	결손이 큰 단면부위에 사용, 형틀설치
05-11	시공불량에 의한 단면결손 보수 공법	(06).(07)-104.203.206	단면 결손
05-12	강관접착 공법(압착공법)	(06).(07).(08)-101.102.104	내하력 보강대책
05-13	강관접착공법(주입공법)	(06).(07).(08)-101.102.104	내하력 보강대책
05-14	PC교의 강관접착공법	(07)-101.206	"
05-15	중형 및 횡형증설공법	(04)-101.102.104.(06)-101.104	"
05-16	중형증설에 의한 PC교의 보강	(06).(07)-999(내하력)	"
05-17	프리스트레스 도입공법	(06).(16)-101.104	균열대책, 내하력 증가
05-18	지중열화에 의한 PC거더단부의 균열 보수	(07)-101.203.203. (15)-801.802	"

공법번호	공 법 명	손 상 코 드	적용목적
05-19	PC I 거더의 가로연결 강봉의 파단	(07)-206.208.(08)-202	강봉파단대책, 균열
05-20	바깥케이블에 의한 PC연속거더의 보강	(06).(07)-101.203.204.205.206.207.208	균열대책
05-21	주형 웨브의 PC강봉에 의한 보강	(06).(07).(08)-101	균열대책
05-22	PC교의 케이블손상의 긴급보수와 외케이블 보수공법	(06).(07)-203.204.205	PC교 손상대책
05-23	하부교각 증설공법	(06).(07)-101.104.205.208	처짐, 균열대책
05-24	강형 중첩침보에 의한 단면보강공법	(06)-101.104.202	내하력 증대
05-25	콘크리트 중첩침보에 의한 단면보강 공법	(06)-101.104.202	"
05-26	강트러스 중첩침보에 의한 보강공법	(06)-101.104.202	"
05-27	탄소섬유에 의한 콘크리트 교량의 보강	(04).(06)-101.104.(05)-202.(06)-202	보강
05-28	동해를 받는 철근콘크리트 거더의 보수	(06).(07).(08)-101.102.104	
05-29	RC거더 슬래브 내민부의 철근배치 불량에 의한 균열보수	(06).(07)-101.104	
05-30	염해를 받는 콘크리트 보수공법	(04)-101.102.(05)-103.(06).(07).(08)-101.102.201.(06).(07)-204.(16)-101~104	
05-31	PC강선의 부식대책	(06).(07)-203~208	
05-32	디솔트리프트 공법	(04)-102.201.(05)-103.202.(06).(07).(08)-102.201.(16)-102.201	중성화 대책
05-33	격쇠근에 의한 균열 봉합공법	(03).(04).(06).(07).(08)-101.(16)-101	균열
05-34	강봉앵커 봉합공법	(03).(04).(06).(07).(08).(16)-101	"
05-35	주말을 이용한 콘크리트 상부구조의 교체공사	(06).(07)-101.102.104.201.202	
05-36	RC상판교의 거더단부 교체	(07)-101.104	
05-37	철근방청공법	(03).(04).(06).(07).(08).(16)-201	
05-38	PC강재의 커플링부의 파괴	(06).(07)-205	
05-39	PC강재의 녹제거의 공법	(06).(07)-206.207	
05-40	콘크리트 표면의 폴리머시멘트 모르타르 도장공법	(04).(06).(07).(08).(15).(16)-101.102	

표 5-11 공법 및 손상코드 연계-강교(09,10,11,12)

공법번호	공법명	손상코드	적용목적
06-1	교정 공법	(09),(12)-302	변형교정
06-2	스톱홀 공법	(09),(12)-303	균열대책
06-3	침접 보강공법	(09),(12)-301,302,303,304	부식균열대책 내하력 증대
06-4	용접보수 공법	(09),(12)-302	균열
06-5	치환 공법	(09)-302,303,304,999(내하력)	균열, 부식, 파단
06-6	보강재 공법	(09),(12)-302,303,304	내하력 증대
06-7	거더 증설 공법	(09)-302,303,304	"
06-8	하부 교각 증설 공법	(09)-302,303,304	작용력 감소
06-9	접침부재공법	(09)-302,303,304	내하력 증대 이상처짐 방지
06-10	외케이블 공법	(09)-302,303,304	내하력 증대
06-11	보강판 고장력 체결 공법	(09)-302,303,(11)-301,(12)-301,302,303,304	"
06-12	지지 공법	(09)-302,303,304	"
06-13	거더교 주형 플랜지의 변형	(09)-302	변형 교정
06-14	거더 단부의 부식 보수 공법	(11),(12)-301	부식 대책
06-15	강 I 형 지점단부의 보강	(09)-302,303,304	단부균열, 손상
06-16	하로식 판형교 누수, 부식대책	(11),(12)-301	부식대책
06-17	고장력 볼트의 교체공사	(10)-402,403,404,604,(12)-604	볼트 교체
06-18	강 I 형교의 Gusset부의 균열대책	(09),(12)-303	균열 대책
06-19	트러스교의 보강공법	(09)-302,303,304,999	트러스교 내하력 증대
06-20	사재보강에 의한 아치교 보강	(12)-302,303,304,999	아치교 보강
06-21	강 I 형 주형과 횡형 플레이트 접합부의 보수보강	(09)-303,(12)-303	접합부 보수
06-22	박스거더 내부의 배수불량 대책	(02)-602	배수 불량
06-23	부재의 부분교체 공법	(12)-302	부재의 부분교체
06-24	트러스교 거더단부의 콘크리트 붕합공사	(09),(12)-302,303,304	이상유대책
06-25	하로랭거교의 현수재 등의 보수	(12)-304	보수
06-26	강교의 높이 조절 공법	(09)-999	지승교체 교하공간 확보

표 5-11 공법 및 손상코드 연계-신축이음(13,14)

공법번호	공 법 명	손상코드	적 용 목 적
07-1	신축이음 배수장치의 보수	(13)-601	핑거플레이트 하면을 탄성실링재로 채워서 비배수식으로 함
07-2	신축장치의 비배수화 공법	(02)-602 (13)-601.604, 605	비배수화
07-3	아스팔트 포장의 덧씌우기에 의한 신축장치 보수방법	(13)-999 (01)-501	교면포장에서 아스팔트 덧씌우기를 할 경우 신축장치를 높임
07-4	유간이상의 보수 및 교체 공법	(13)-603	유간이상에 대한 공법 비교
07-5	유간이상의 보수	(13)-603 (16)-999	유간이 좁아진 경우 교체보수를 통해 유간을 넓히는 방법
07-6	교형이동에 의한 유간조정 공법	(13)-603	주거터를 이동시켜 유간을 조정하는 방법
07-7	페이스플레이트 핑거의 손상 및 보수 공법	(13)-304	플레이트 핑거의 파손부분을 용접에 의해 보수하는 방법
07-8	핑거 플레이트의 보수	(13)-303.304	핑거의 파손 및 파단에 대하여 부분적으로 보수하는 방법
07-9	페이스플레이트와 복부판과의 용접부 파단보수	(13)-304.604	페이스플레이트와 복부판과의 용접부위의 파단에 대해 보강리브나 복공철관 등으로 보수하는 방법
07-10	맞댐조인트(cut-off)의 교체 보수 공법	(13)-801.803	맞댐조인트의 고무의 노화나, 탈락, 파손에 대한 교체보수공법
07-11	맞댐고무조인트(HamaHighway)의 교체보수 공법	(13)-801.803	Hama Highway 맞댐 고무조인트의 교체
07-12	맞댐고무조인트(SB Rubber)의 교체보수 공법	(13)-801.803	SB Rubber 고무조인트의 교체
07-13	강접침조인트를 강핑거조인트로 교체	(13)-301.302, 303.304.604	강접침조인트를 강핑거조인트로 교체
07-14	신축장치의 청소	(13)-999	이물질 제거
07-15	매설조인트에 의한 연속화	(13)-999	매설조인트 연속화 공법
07-16	강거더 웹의 연결에 의한 연속화	(13)-999	웹의 연결에 의한 연속화
07-17	강거더 상판연결에 의한 연속화	(13)-999	상판연결에 의한 연속화
07-18	PC거더세로보 연결공법	(13)-999	PC 거더 세로연결에 의한 연속화 공법

공법번호	공 법 명	손상코드	적 용 목 적
07-19	앵커볼트·앵커재의 체결 (각론 없음)	(13)-601	앵커볼트나 앵커재의 볼트의 너스함에 대한 소음 등이 발생시에는 볼트의 조임이나 회전방지 부착재 등을 사용하여 간단하게 보수할 수 있음
07-20	강제거더와의 접합불량에 의한 소음대책( 각론 없음)	(13)-604	강제거더와의 접합불량으로 송음이 발생시는 볼트조임이나 앵커바의 용접으로 간단히 보수 할 수 있음
07-21	배수통의 부식, 파손	(13)-601	교체나 보수가 작업공간이 협소하여 까다로운 편임
07-22	단차발생에 대한 조인트부의 보수	(14)-999 (01)-501	후타재 부분이 단차 발생에 대한 보수방법
07-23	조인트 단부의 보강공사	(14)-101.1 04	조인트 단부의 균열, 파손 탈락에 대한 보강공사나 교체보수 공법
07-24	강제조인트 앵커바의 보수 및 증설 공법	(14)-101.1 04	앵커부 후타재의 균열이나 파손에 대한 교체보수 공법
07-25	철삭줄눈을 고무조인트로 교체 보수	(14)-101.1 04 (13)-803	포장면에 균열이 있거나 바닥판의 모서리부 결함에 대해 교체 보수한 방법
07-26	조인트포장 시일패칭 (각론 없음)	(14)-101 (01)-101	조인트 포장부의 결함이 경미한 경우에는 시일 패칭으로 간단히 처리할 수 있는데 구체적인 내용은 교면 포장 참조
07-27	후타재의 앵커콘크리트의 시일 (각론 없음)	(14)-101	후타재의 경미한 균열에 대해서는 시일 주입 등의 방법으로 보수 할 수 있는데, 바닥판, 콘크리트판에서 상세한 공법 참조

표 5-11 공법 및 손상코드 연계-교좌장치(15)

공법번호	공 법 명	손 상 코 드	적 용 목 적
08-1	교좌장치의 모르타르의 보수공법	(15)-101.104	받침부 균열
08-2	라멘고가교 교좌의 보수	(15)-101.102, (17)-703	"
08-3	드라이 팩킹이 변형을 일으킨 교좌장치의 보수	(15)-302.303.3 04	강재 변형
08-4	게르버 거더의 힌지부의 보수	(15)-101	받침부 균열
08-5	이동제한 장치의 신설공법	(15)-101.104	받침부 손상
08-6	지승의 파괴에 따른 구조물의 손상	(15)-104.304.8 03	지승 탈락
08-7	연판을 갖는 콘크리트 록지승의 파괴	(15)-104	받침부 파괴
08-8	지승의 파괴에 따른 받침주의 손상	(15)-101.104.3 04	지승 탈락
08-9	하부지승의 개조공사	(15)-104	받침부 손상
08-10	지승의 부식에 대한 일부교체공사	(15)-301	지승 부식
08-11	지승의 교체	(15)-104.302.3 04	지승손상, 지승 교체
08-12	롤러지승의 코너부 파괴	(15)-304	지승 코너부 파괴
08-13	롤러형틀의 파괴	(15)-104	롤러형틀의 파괴
08-14	용접형 고강도 롤러지승의 파괴 및 보수	(15)-304	지승 파괴
08-15	I형 강교 지승부의 용접 보수	(15)-303	용접 보수
08-16	지승의 지압판 및 롤러의 파괴	(15)-302.304	지압판 파괴
08-17	슈배치 불량에 의한 미끄럼면 간격 발생	(15)-302	슈배치 불량
08-18	교좌부의 확폭공법	(15)-101.104	교량 확폭
08-19	교좌 콘크리트의 보강 및 확폭공법	(15)-101.104	받침부 보강

표 5-11 공법 및 손상코드 연계-교대·교각(16,17)

공법번호	공법명	손상코드	적용목적
09-1	하부구조의 균열보수 공법	(16)-101.102.103.1 04.201.202	균열대책
09-2	하부구조의 균열에 대한 그라우팅 공법	(16)-101.102.103.1 04.201.202	"
09-3	콘크리트의 열화보수 공법	(16)-101.102.103.1 04.201.202	열화대책
09-4	기동균열의 RC보강공법	(16)-101	균열대책
09-5	PS도입에 의한 교각 보강공법	(16)-101	내하력 증가
09-6	강판에 의한 교각 보강공법	(16)-101.102.104.2 01.202	내하력 증가
09-7	탄소섬유에 의한 교각보강	(16)-101.104.201.2 02	손상대책, 내하력 증 가
09-8	시공불량 교각의 부분 치환 공법	(16)-102.104.201	철근노출, 콘크리트 박리
09-9	하부구조의 응급보강공법	(16)-101.104	응급보강
09-10	모르타르 충전에 의한단면 보수공 법	(16)-102.104.201	단면보수
09-11	하부구조의 단면보수 공법	(16)-201.202	박리나 철근노출대책
09-12	세굴 및 하상저하 방지공법	(17)-701.702	세굴, 하상저하대책
09-13	컴팩션 그라우팅 공법	(17)-701.702,703	지방강화대책
09-14	토류벽과 콘크리트 말뚝에 의한 세굴대책	(17)-701.702	세굴대책
09-15	블록으로 교각 주위를 보강하는 공법	(17)-701	"
09-16	거더보로 말뚝에 하중 분담 시키 는 세굴방지 공법	(17)-701	"
09-17	세굴에 대한 신설푸팅과 말뚝에의 해 하중 분담	(17)-701	"
09-18	세굴에 대한 가설체 및 지중연속 벽 보강공법	(17)-701	"
09-19	국부세굴의 보수를 위한 널판 공 법	(17)-701	"
19-20	기초의 사면 활동의 대책공법	(17)-703.999(지반활 동)	지반활동

공법번호	공 법 명	손상코드	적 용 목 적
09-21	보강말뚝과 보강콘크리트의 타설 공법	(17)-701,702,703	지지력 보강대책
09-22	폴리머에 의한 말뚝의 피복 공법	(17)-703	방식 대책
09-23	긴 말뚝의 보수 방법	(17)-703	
09-24	부식된 강구조물의 방식 보강 공법	(17)-703	부식방지 대책
09-25	침하대책의 강관압입공법	(17)-999	침하대책
09-26	교대의 회전보수 공법	(17)-999	교대변위
09-27	EPS에 의한 배면토압 경감 공법	(17)-999	변위, 이동
09-28	주변지반 개량공법	(17)-701,702,999	지반개량
09-29	세굴에 대한 지반개량공법	(17)-701	세굴대책
09-30	신설교각과 기존교각의 일체화 공법	(16)-101,104,999 (침하)	침하
09-31	기포콘크리트에 의한 압밀 침하 억제공법	(16)-999	침하
09-32	홍수류 대책	(17)-701,702,999	홍수류 대책
09-33	파랑에 대한 보수 공법	(17)-701,702	파랑 대책
09-34	역 L 형교각의 균열보수 공법	(16)-101	균열대책, 내하력 증대
09-35	비대칭 교대, 날개벽의 보수	(16)-101	"

표 5-12 구조부위별 손상코드 분류표

손상부위		손상 코드	교면 포장	배수 시설	난간 연석	상 판		콘크리트 주형		콘크리트 가로보
						균열	백태	중앙부	지접부	
손상종류			01	02	03	04	05	06	07	08
콘크리 트	균열	101	▲		▲	▲		▲	▲	▲
	박리	102	▲		▲	▲		▲	▲	▲
	백태	103					▲			
	파손, 탈락	104	▲	▲	▲	▲		▲	▲	▲
철근	노출, 부식	201			▲	▲		▲	▲	▲
	파단	202					▲	▲	▲	▲
PC 강재	노출	203						▲	▲	
	부식	204						▲	▲	
	파단	205						▲	▲	
쉬스관	노출	206						▲	▲	
	부식	207						▲	▲	
	파단	208						▲	▲	
강재	부식	301			▲					
	변형	302			▲					
	균열	303								
	파손, 파단	304			▲					
볼트 리벳	부식	401								
	변형	402								
	이완	403								
	파손, 파단	404			▲					
아스팔 트포장	단차	501	▲							
	균열	502	▲							
	요철	503	▲							
	포트홀	504	▲							
기능	누수	601		▲						
	배수불량	602		▲						
	유간	603								
	이상진동	604								
	오염	605		▲			▲			
기초	세굴	701								
	침식	702								
	파일손상	703								
고무재	노화	801								
	균열	802								
패킹재	탈락	803								
	파손	804								
기타		999	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲

손상부위 손상종류		손상 코드	강제주형			강제 가로보	신축이음		교좌 장치	교대,교각	
			균열	볼트	표면		본체	후타재		구체	기초
			09	10	11	12	13	14	15	16	17
콘크리트	균열	101					▲	▲	▲		
	박리	102						▲	▲		
	백태	103							▲		
	파손,탈락	104					▲	▲	▲		
철근	노출,부식	201							▲		
	파단	202							▲		
PC 강재	노출	203									
	부식	204									
	파단	205									
쉬스판	노출	206									
	부식	207									
	파단	208									
강재	부식	301			▲	▲	▲		▲		
	변형	302	▲			▲	▲		▲		
	균열	303	▲			▲	▲		▲		
	파손,파단	304	▲	▲		▲	▲		▲		
볼트 리벳	부식	401		▲		▲					
	변형	402		▲		▲					
	이완	403		▲		▲					
	파손,파단	404									
아스팔트포장	단차	501									
	균열	502									
	요철	503									
	포트홀	504									
기능	누수	601									
	배수불량	602					▲				
	유간	603									
	이상진동	604					▲				
	오염	605		▲		▲	▲				
기초	세굴	701			▲		▲			▲	
	침식	702								▲	
	파일손상	703								▲	
고무재 패킹재	노화	801					▲		▲		
	균열	802							▲		
시일재	탈락	803					▲		▲		
	파손	804							▲		
기타		999	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	

표 5-13 용수 개거 보수보강공법

공 법 명	적 용 목 적
박층 overlay 공법	전면 탈락 및 누수
Concrete overlay 공법	큰 면적에 걸친 철근노출, 골재탈락
페칭공법	국부적인 균열, 박리
실링공법	부분적인 누수
퍼티공법	부분적인 균열, 박리

표 5-14 터널 보수·보강 공법

항목	처리방법
균열	가. 표면처리 공법 나. 충전주입 공법 다. 강제보강 공법 라. 침투성 방수재 도포공법
누수 - 용수구간 - 지하수 다량구간 - 수압을 동반한 누수구간 - 토피가 작은 경우 지표수 유입구간	적절한 배수공 설치 비중이 큰 주입재의 선정이 필요하다. 일반적으로 수압의 저하를 피하기 위해 수발공을 설치  지표 함몰 붕괴가 생기기 쉬우므로 지반 주입공을 검토할 필요가 있다.
복공 성능저하	1. 지보공 보강 공법 2. 내부 두께 보강 공법 3. 슛크리트 이용 보강 공법 4. 복공 교체 5. 보호 질·성토
백화	1. 콘크리트 표면 건조 2. 화학약품 처리
동해	1. 손상부위 덧씌우기 2. 방청도장
기타 - 철근부식 - 열화 - 중성화 - 침하	1. 녹물 반점 → 화학약품처리 2. 피복 교체 3. 덧씌우기

표 5-15 교면 포장의 보수공법

공 종	공 법	개 요
패칭 (Patching)	가열 혼합식 공법	재료를 가열 혼합하여 시공하는 방법으로 기존 포장과 는 부착이 좋고 내구성 및 안전성이 우수하며 대형차 의 교통량이 많은 곳의 보수에 적합하다. 그러나 온도 관리를 잘못하면 성능이 떨어지므로 주의해야 한다.
	상온 혼합식 공법	상온 상태에서 시공하는 방법으로 운반과 포설에 편리 한 가열 혼합식에 비해 내구성 및 안전성이 떨어지므 로 긴급을 요하는 보수에 주로 사용된다.
표면처리	시일코우트 (Seal coat)	포장표면에 살포한 역청 재료위에 모래나 부순돌을 살 포하여 부착하는 공법
	아마코우트 (Armor coat)	시일 코우트를 여러회 반복하여 두껍게하는 공법
	카펫트 코우트 (Carpet coat)	포장의 표면에 쇄석, 모래, 스크리닝스, 석분, 아스팔 트등의 혼합물을 얇게 포설하여 다지는 공법
	포그시일 (Fog seal)	물로 묽게한 유화 아스팔트를 얇게 살포하여 작은 균 열과 표면의 공극을 채워 보수하는 공법
	슬러리시일 (Slurry seal)	유화 아스팔트, 잔골재, 석분과 적당량의 물의 가한 상온혼합물을 슬러리 모양으로 얇게 포설하는 공법
기타	절삭 (Milling)	포장표면에凹凸이 발생하여 평탄성이 불량하게 된 경 우에 이 부분을 절삭하여 노면의 평탄성 미끄럼저항을 회복시키는 공법
	플라쉬대책	노면에 건조한 쇄석을 살포하고 철틀로올러로 다짐하 여 노면에 압입시키는 공법
	노상표층재	표층의 혼합물층을 가열하여 긁어 일으켜 거기에 새로 운 아스팔트 혼합물, 첨가제등을 가하여 재생하고 이 를 다시 포설하는 공법
덧씌우기	덧씌우기	기존 포장의 강도가 부족하거나 평탄성이 불량하고 균 열이 있는 경우에 실시하는 공법. 사하중의 증가에 주 의하여야 한다
	절삭 덧씌우기	포장의 상태가 재포장의 상태에 이르지 않는으나 덧 씌우기를 하여도 동일한 파손이 반복될 우려가 있는 경우에 실시하는 방법
재포장	재포장	기존 포장의 파손이 현저하여 덧씌우기를 할 수 없거 나 구조상 덧씌우기에 의한 중복이 불가능한 경우에 실시하는 방법

표 5-15 콘크리트 상판의 보수보강공법

공 법	개 요
수지주입 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 균열 내로 에폭시 수지를 주입하여 콘크리트를 일체화하는 공법.</li> <li>- 교통을 통행시키면서 시공 가능</li> <li>- 상판의 방수성 향상</li> <li>- 철근의 방청효과</li> <li>- 내하력의 증가는 기대할 수 없음.</li> <li>• 콘크리트 구조물의 응력상 지장이 없는 부분의 균열진행을 방지하고 구조물의 일체화를 도모하기 위하여 균열부 주위에 에폭시계 수지를 주입하여 보수하는 공법으로 균열의 크기에 따라 시행하고 있다.</li> </ul>
퍼티 공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트 표면의 박리, 열화등 결함부 주위를 깨어내고 퍼티용 에폭시계수지, 레진콘크리트, 모르타, 콘크리트등을 채워 내부 콘크리트를 보호하고 철근의 부식을 방지하는 목적으로 시행하는 공법이다.</li> </ul>
FRP 접착공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트의 인장축에 FRP(유리섬유보강 프라스틱)를 접착해서 상판을 보수하는 공법</li> <li>- 교통을 통행시키면서 시공 가능</li> <li>- 소재의 유연성이 높음</li> <li>- 경량이며 작업성 우수</li> <li>- 탄성계수가 작아 보강보다는 보수에 효과적임</li> </ul>
강판 접착공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트의 인장축에 강판(두께 4.5~6.0mm)을 접착 기존 콘크리트와 일체화하는 공법</li> <li>- 활하중에 의한 저항력 증대</li> <li>- 철근량이 부족한 상판에서 균열이 진행되지 않는 경우에 채택</li> <li>- 시공 이후의 내부상태를 추적조사하기 어려움</li> <li>• 콘크리트 인장축 표면에 강판이 철근 단면의 일부로써 작용케하여 활하중에 대한 내하력을 증가시키는 공법으로 접착에는 주로 에폭시계수지가 사용되고 있다. 접착법에는 압착법과 주입법이 사용되며 단점으로는 에폭시 가격이 고가이고 내부변화를 관찰하기 곤란한 점이 있다.</li> </ul>
주형 증설공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 상판의 지지거더 사이에 1~2개의 거더를 증설하여 상판에 작용하는 휨 모멘트를 경감시키는 공법</li> <li>- 교통을 통행시키면서 시공 가능</li> <li>- 보강 후 상판의 손상 상태를 확인에 유리함</li> <li>- 증설거더의 강성 차이에 의한 부등침하로 상판이 재손상될 수 있음</li> </ul>
가로보 증설공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 가로보를 증설하여 하중분배효과를 높이는 공법</li> <li>- 교통을 통행시키면서 시공 가능</li> <li>- 다른 공법과 병용하여 사용 가능</li> <li>- 상판자체의 보강이 아니므로 상판 콘크리트의 박리 탈락을 방지할 수 없음</li> </ul>
단면 증대공법	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상판 상면에 철근, 철망을 매설하고 콘크리트를 타설하는 공법</li> <li>- 다른 공법에 비해 공사비가 저렴</li> <li>- 교통을 통제한 상태에서 시공</li> <li>- 사하중 증가를 초래하므로 주형의 응력을 검토하여야 함</li> </ul>

기둥증설	· 기존 구조물사이에 빔이나 기둥을 설치하여 공간을 줄어줌으로써 내하력을 크게 하는 공법이다.
콘크리트나 강재를 사용한 단면증설	· 기존 빔과 밀착시켜 콘크리트를 타설하여 단면을 크게 한다든지 강형을 증설하고 기존 단면과 합성시켜서 내하력을 증가시키는 공법으로 교량아래 공간이 여유가 있는 경우에 시행하는 것이 좋다.
Prestress 도입공법	· PC강재를 사용하여 빔에 프리스트레스를 도입시킴으로써 응력을 감소시키고 균열을 축소시키는 동시에 내하력을 증대시키는 공법이다.
중형증설 및 횡형보강공법	· 중형 증설이나 횡형에 대한 보강을 해줌으로써 직접적인 내하력증가는 없지만 교량전체 격자구조물로서의 보강효과를 피하는 간접 보강방법으로 교량의 진동이 심한 경우나 거더 자체의 보강이 곤란한 경우에 유효하다.

표 5-15 공법의 개요-교각구체 보수보강공법

공 법	개 요
단면확대에 의한 방법	기존 부재에 철근콘크리트를 덧붙여 타설함으로써 단면 증가에 의한 내하력의 증대를 피하는 공법으로 현재 주로 많이 시행되는 방법이다. 신구부의 일체화, 철근의 기초 정착 등에 유의해야 한다.
강판 집착에 의한 방법	단면 확대에 의한 보강이 곤란한 경우에 사용되는 공법으로 포장 및 장래 유지관리에 유의하여야 한다.
부재연결에 의한 방법	라멘 교각 등에 주로 적용되는 방법으로 구체 사이를 벽으로 연결하여 일체화시키는 공법이다. 기존, 부재와의 연결부 시공에 유의하여야 한다.

표 5-15 공법의 개요-교대안정에 대한 보수보강공법

공 법	개 요
어스앵커공법	교대벽체를 관동하여 보링을 하고 어스 앵커를 설치하여 활동 및 전도에 저항케 하는 공법으로 비교적 소규모의 기계로 시공이 가능하다.
기초 저면의 확폭에 의한 방법	기초 전면으로 기초를 확대시공하는 공법으로 가체질이 필요한 경우가 있으며 신구 부재의 연결에 유의하여야 한다.
기초 전면에서의 말뚝증설에 의한 방법	기초 전면을 굴착하고 말뚝을 향타한후 확폭하는 공법으로 교량 아래에서의 작업인 경우에는 현장 타설 말뚝등을 사용하는 것이 좋으며 신구부재의 연결에 유의하여야 한다.
토압감소에 의한 방법	교대배면에 말뚝을 시공하여 배면에서의 토압을 경감시키는 공법으로 교통통제가 필요하며 현장 타설 말뚝을 사용하는 경우에는 지반의 지지력저하에 유의해야 한다.

표 5-15 공법의 개요-기초 보수보강 공법

공 법	개 요
말뚝에 의한 보강	시트 파일이나 PIP등을 기초 외면에 시공하고 그라우팅하여 채움으로써 세굴이나 기초 지지력에 대해 보강하는 공법으로 시공시 말뚝 길이에 제한이 따르는 경우가 있다.
세굴 방지공에 의한 방법	세굴 방지공을 이용하여 기초의 세굴 방지를 도모하는 공법으로 시공이 비교적 용이하나 영구적인 공법으로는 미흡하다.
기초의 확대에 의한 방법	지반의 위치에 기초를 설치하여 주로 수평력에 저항케하여 보강하는 공법으로 세굴 및 지지력의 향상을 도모하는 공법이다. 신규 부재의 연결에 유의해야 한다.
말뚝 증설에 의한 보강	신설말뚝을 기존 주변에 설치하고 기초를 확대하는 방법으로 지지력에 대해 보강하는 것이다. 비교적 효과가 확실하며 교량 아래에서의 시공시에는 말뚝길이의 제한이 따른다.
지중연속벽에 의한 보강	지중연속벽을 기존 기초 주위에 설치하고 기존 구체와 일체화시키는 공법으로 지지력 및 세굴에 대해 보강을 시키는 방법이다. 보강효과가 확실하며 토질조건에 따라 시공법을 선정하여야 한다.
기초 연결에 의한 방법	인접한 기초간을 철근 콘크리트 슬래브로 연결하여 기초의 안정을 도모하는 공법으로 작은 지간의 교량에 적용할 수 있다. 지지력과 기초의 변위에 효과가 있으며 시공중 가체절이나 유수의 우회조치 등이 필요할 때가 있다.
지반 개량에 의한 방법	그라우팅이나 생석화 말뚝, 소일 시멘트, 약액주입 등을 기초 주변에 시공하여 연약 지반의 지지력을 증대시키는 공법으로 지지력이나 포화된 사질지반의 개량에 효과가 있다. 지반의 개량 범위에 유의하여야 한다.

표 5-15 공법의 개요-하상저하 및 세굴에 대한 보수보강공법

공 법	개 요
돌망태공	하상이 불안정한 경우에 적용하는 공법으로 돌망태 사이의 연결을 견고히 하여 전체가 안정하도록 설치해야 한다.
블록공	하상이 불안정하고 근입 깊이가 얇은 경우에 적용하는 공법으로 우수중에 부분 시공을 한다.
확대콘크리트공 (+약액주입)	하상이 불안정하고 근입 깊이가 얇으며 하천폭이 비교적 협소한 경우에 적용하는 공법으로 약액주입과 상하류측에 기초를 설치해야 한다.
조약돌 깔기공	비교적 안정된 하상이나 근입 깊이가 얇은 경우에 적용하는 공법으로 보강부 상단이 하상보다 높지 않게 설치해야 한다.
사석이나 블록공	자갈 공급이 많은 급류 하천에서 넓은 세굴이 있는 경우에 적용하는 공법으로 사석만으로 불안정한 경우에는 블록을 설치하는 것이 좋다. 보강부 상단이 평균 하상보다 높지 않게 설치해야 한다.
초중량 콘크리트 블록에 의한 방법	급류가 있는 계류나 유량이 큰 하천 등에 적용하는 공법으로 각각의 블록이 안정되어야 한다.
블록 조합에 의한 방법	자갈 공급이 많은 하천에 적용하는 공법으로 각 블록 및 블록군 사이가 안정되어야 한다.
언제에 의한 방법	자갈 공급이 거의 없는 하천에 적용하는 공법이다.

표 5-16 등급별 공법선정 기준

구조부위 등급	A	B	C	D	E
등급별 대책	열화종류별로 등급이 C 이하인 경우에만 부분적으로 보수	열화종류별로 등급이 C 이하인 경우에만 전반적으로 보수	열화종류별로 등급이 C 이하인 경우에만 전반적으로 보수	모든열화 종류에 대하여 전반적으로 보수·보강	교체
공법 선정	열화 항목별 공법 선정 (표 4)	다양한 열화 종류를 한번에 보수할 수 있는 공법을 우선적으로 선정 (표 4)	다양한 열화 종류를 한번에 보수할 수 있는 공법을 우선적으로 선정 (표 4)	가능한 모든 열화 종류를 한번에 보수·보강할 수 있는 공법을 우선적으로 선정 (표 4)	-

표 5-17 공법별 자재 및 인력단가-탄소섬유 보강공법 단가표

(1M<sup>2</sup> 단가)

품 명	규 격	단 위 (Unit)	수 량	재료비		인 건 비		계	비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액		
PRIMER9	PR - 67	kg	0.4	13,000	5,200			5,200	
RESIN	LR - 67	kg	0.8	13,000	10,400			10,400	
CF SHEET	NR - 72	M <sup>2</sup>	1.0	40,000	40,000			40,000	
잡 재료비		식	1.0	3,000	3,000			3,000	
불육 처리공	방수공	인	0.28			57,701	16,156	16,156	
프라이머 도포공	도장공	인	0.28			63,038	17,651	17,651	
EPOXY RESIN공	도장공	인	0.30			63,038	18,911	18,911	
SHEET 접착공	방수공	인	0.35			57,701	20,195	20,195	
소 계					58,600		72,913	131,513	

표 5-17 공법별 자재 및 인력단가-강판접착 EPOXY 주입 보강공법 단가표  
(1M<sup>2</sup> 단가)

품 명	규 격	단 위 (Unit)	수 량	재료비		인 건 비		계	비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액		
강판 4.5ton	SS-41	kg	37	500	18,500			18,500	운임 포함
ANCHOR BOLT	M-10	EA	12	750	9,000			9,000	
광명단	KSM-5311	kg	0.3	3,800	1,140			1,140	2회
기타 잡 재료비	산소 LPG 용접봉	식	1	2,000	2,000			2,000	
씰링제	SSG - 57	kg	0.6	7,000	4,200			4,200	
주입제(EXPOXY)	SSG - 17	kg	3.2	7,800	24,960			24,960	
주입파이프	AL 8M/M	EA	4	300	1,200			1,200	
볼트캡		EA	8	300	2,400			2,400	
철 공		인	0.40			67,900	27,160	21,160	
용접공		인	0.35			65,500	22,925	22,925	
씰링공		인	0.25			57,701	14,425	14,425	
주입공		인	0.20			57,701	14,425	14,425	
철판방청도막공		인	0.05			59,569	2,978	2,978	
보통인부		인	0.05			37,736	1,887	1,887	
소 계							83,800	147,200	

표 5-17 공법별 자재 및 인력단가-박층 오버레이 공법 단가표

(1M<sup>2</sup> 단가)

품 명	규 격	단 위 (Unit)	수 량	재 료 비		인 건 비		계	비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액		
시멘트		m <sup>3</sup>	12.75	3,550	45,263			45,263	
모 래		m <sup>3</sup>	0.98	9,900	9,702			9,702	
철 근	φ13	m	0.2	40,000	8,000			8,000	파손이 진행되고 있는 경우
con bond		kg	1	30,000	30,000			30,000	신·구 콘크리트 접착제
보통인부		(인)	1.3			37,736	49,056	49,056	
소 계					92,965		49,056	142,021	

표 5-17 공법별 자재 및 인력단가-균열보수 (0.3 mm 이상) 에폭시 주입공법

(1M<sup>2</sup> 단가)

품 명	규 격	단 위 (Unit)	수 량	재 료 비		인 건 비		계	비 고
				단 가	금 액	단 가	금 액		
EPOXY 주입제		kg	0.3	7,800	2,340			2,340	
EPOXY 씰링제		kg	0.3	7,000	2,100			2,100	
건설용 주사기		EA	4.0	300	1,200			1,200	
고 정 좌 대		EA	4.0	250	1,000			1,000	
SPRING		EA	4.0	250	800			800	
주 입 공	방 수 공	인	0.06	250		57,701	3,462	3,462	
씰 링 공	방 수 공	인	0.05			57,701	2,885	2,885	
보 통 인 부		인	0.02			37,736	754	754	
소 계					7,440		7,101	14,541	

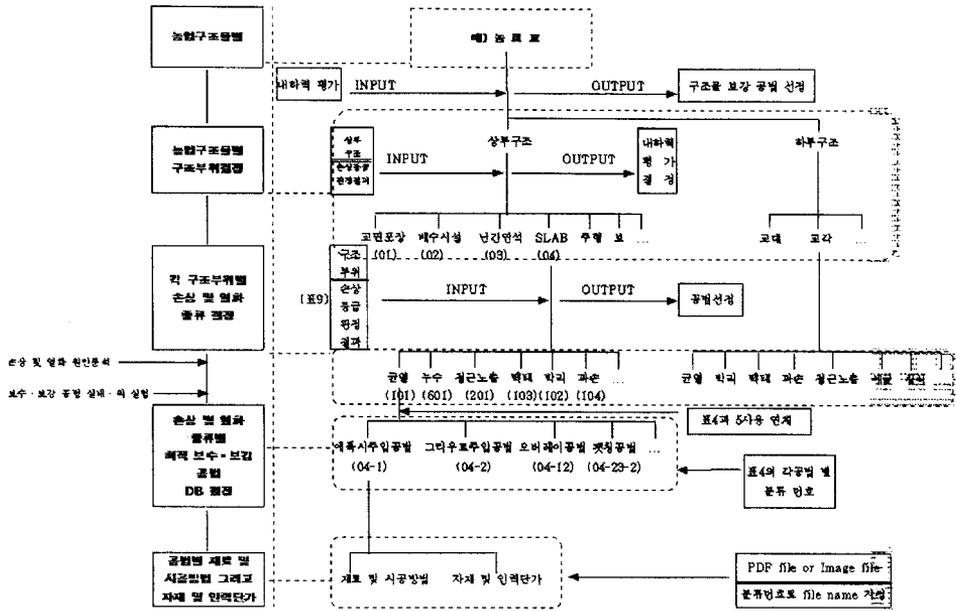


그림 5-73 보수·보강 공법 선정 SYSTEM 체계도

### 3. 최적 보수 공법 선정 실험

#### 가. 실험개요

농업 수로구조물에 대한 손상 및 열화 원인을 분석한 결과 시공과 노출환경이 주요 원인이었다. 동절기 시공, 시공관리의 어려움, 낮은 설계강도, 물과의 빈번한 접촉, 동결융해, 침식 등의 원인이 콘크리트의 손상 및 열화를 가속시켜서 일반 토목구조물보다 성능 저하가 심하였다. 이러한 원인에 의한 누수, 백화, 균열, 박리, 박락, 철근 노출 및 부식 등이 콘크리트 수리구조물의 주요한 성능 저하 현상이었다. 이러한 성능 저하 현상에 대한 보수 공법으로는 주입공법, 실링공법, 누수 실링공법, 충전공법, 철근보수공법, 단면보수공법, 표면보호공법 등이 가장 많이 사용된다. 이러한 보수공법들은 누수방지, 철근보수, 단면복구, 표면보호를 목적으로 시행된다.

콘크리트 수리구조물의 손상 및 열화 현상에 대하여 위의 보수공법을 시행할 때 가장 유의 해야할 사항은 수리구조물이 일반 토목구조물에 비하여 시공 및 노출환경이 매우 열악하기 때문에 보수 재료 선정시 이러한 열악한 환경에 저항성이 좋은 재료를 고려해야 한다는 점이다. 열악한 환경에 저항성이 좋은 재료를 조사하기 위하여 콘크리트 수리구조물에 많이 사용되는 다양한 보수재료에 대하여 성능 평가 시험을 실시하고자하며, 성능비교항목은 다음과 같다.

- ① 보수재료의 물리적 성상 및 강도특성
- ② 유수에 대한 저항성
- ③ 초기동해 및 동결융해 저항성
- ④ 수밀성
- ⑤ 중성화 저항성
- ⑥ 바탕재와의 부착성능
- ⑦ 침식에 대한 마모 성능

#### 나. 보수재료의 물성 평가

보수재료를 사용하기 전 보수재료의 물리적 특성 및 강도특성을 충분히 파악하는 것이 중요하다. 본 실험은 보수재료가 가지고 있는 고유의 물리적 특성 및 강도특성을 파악하기 위한 실험으로 유동성 시험, 단위용적 중량 및 흡수율, 응결시험,

강도 시험 등을 시행하였다. 시험에 사용된 보수 재료는 일반 몰탈, 고강도 몰탈, 복구 몰탈, 폴리머 몰탈, 무수축 몰탈, 침투성 도막 방수제, 중성화 도막 방지제이었다. 선정된 중성화 도막 방지제는 중성화, 염화물, 동해에 저항성이 좋은 탄성 코팅제이다. 밀도는 약  $1.6 \text{ kg/m}^3$ 이고 이산화탄소 확산 저항성이 500m 보다 크며 수증기 확산 저항성은 1.1m(건조 도막 두께  $2000 \mu$ )이다. 침투성 도막 방수제는 실리카 규사와 아크릴 폴리머 등의 혼합물이며 밀도는  $1.5 \text{ kg/l}$ 이고 수증기 확산 저항성은 약 80이다. 28일 압축강도는  $2 \text{ kgf/cm}^2$  이고 휨 강도는  $0.4 \text{ kgf/cm}^2$ 이다. 흡수비는 0.20+5이다. 고강도 몰탈의 28일 압축강도는 8~ $13 \text{ kgf/cm}^2$  이고 휨 강도는 1~ $2 \text{ kgf/cm}^2$ 이다. 그리고 단위 체적당 중량은 약  $2300 \text{ kgf/m}^3$ 이다. 복구 몰탈은 일반 몰탈에 접착성을 증진 시키기 위한 아크릴 수지, 균열 방지위한 화이버, 수축방지용 팽창제, Non-sag filler 등을 첨가시킨 몰탈이다.

#### 다. 유수에 대한 저항성 평가

그림 5-74와 같이 콘크리트 플룸관에 각각의 보수재료로 보수를 한 후 고가 수조로부터 유속 3 m/sec의 고속의 물을 흘려보내 보수된 재료의 유수에 의한 마모 및 캐비테이션 성능을 평가한다. 그림 5-75와 5-76에는 유수 실험 Setup 과 결과가 나타나있다. 실험 결과 육안 조사로는 쉽게 구분이 가능할 정도의 손상이 일반 몰탈과 폴리머 몰탈에 발생하지는 않았으나 현미경 조사를 통하여 비교하여보면 일반 몰탈의 경우에 침식에 의한 손상정도가 보다 심각하였다. 손상 정도를 보다 정량적으로 파악하기 위하여 다양한 보수 재료에 대하여 마모 실험을 수행하였다.

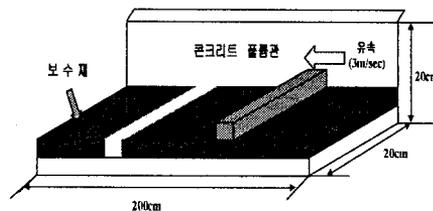


그림 5-74 유수실험방법

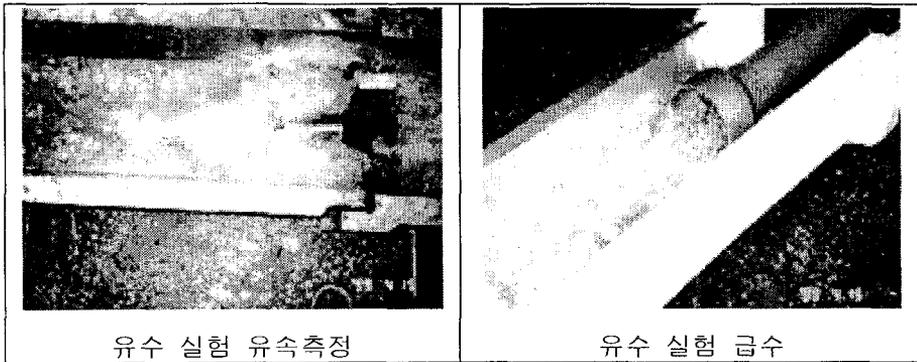


그림 5-75 유수실험 급수와 유속측정

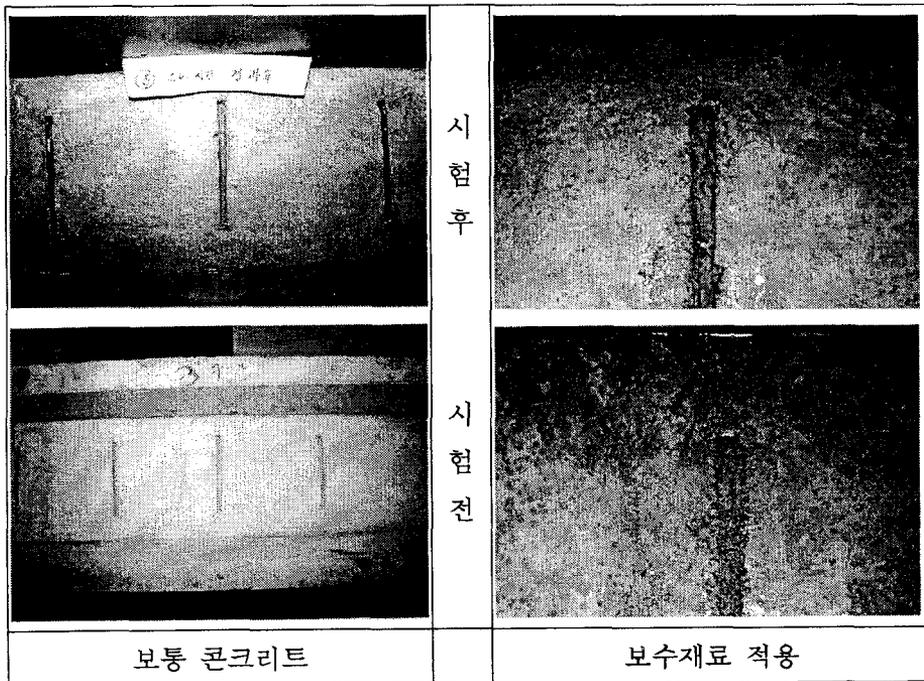


그림 5-76 유수에 의한 열화 상태

라. 초기 동해 및 동결융해 저항성 평가

농업기반공사 예당지부 관할 수로교 및 여수로 그리고 용수로 등을 현장조사하고 열화 원인을 분석한 결과, 동해에 의한 콘크리트 손상이 상당히 심한 것으로 나타났다. 또한 농업구조물 보수는 농번기를 피해 하루의 온도변화가 심한 가을부터 다

음해 초봄까지 이루어지기 때문에 초기 동해를 입을 가능성이 있으므로 농업 구조물에 대한 보수·보강의 공법의 적절성 평가는 보수후 초기 동해에 대한 저항성이 고려되어야 한다.

따라서 본 실험에서는 동해를 입은 농업구조물에 대한 적절한 보수·보강 공법을 선정하기 위하여 동해를 입은 콘크리트를 다양한 보수재료로 보수한 후 다시 초기 재령에서 동결융해를 시켜 보수재료의 성능평가를 실시하였다.

1) 실험계획

본 실험은 표 5-18과 같이 7.5×7.5×40cm 콘크리트 시험체를 제작하여 강제 동결융해를 시켜 상대동탄성계수가 70%가까이 되었을 때 손상부위를 제거 한 후 일반물탈(시멘트: 모래 = 1:3), 고강도 물탈 (1:3), 폴리머시멘트계 3종류로 보수하여, 재령 7일 후에 다시 동결융해를 시켰다.

소정의 싸이클까지 동결융해를 시킨 후 압축강도, 부착강도, 동탄성계수, 중량 감소율 등을 측정하여 각 보수재료간의 상대적인 평가를 실시하였다.

표 5-18 실험계획

보수재료	실험방법	측정항목
무보수	콘크리트시험체(7.5×7.5×40cm) →	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 1차 공명진동(상대 동탄성계수)</li> <li>· 중량감소율 (%)</li> <li>· 압축강도 (kgf/cm<sup>2</sup>)</li> <li>· 부착강도 (kgf/cm<sup>2</sup>)</li> </ul>
보통물탈(1:3)	동결융해 (상대동탄성계수 70%) → 손상부위 제거 → 각 보수재료로 보수	
고강도물탈(1:2)	→ 양생 ( 7일) → 동결융해 → 소정의	
폴리머시멘트계	싸이클에서 소정의 시험항목 측정	

2) 콘크리트 배합

7.5×7.5×40cm 콘크리트 시험체는 표 5-19와 같은 배합으로 제작하였으며, 압축강도는 재령 2주에 평균 185kgf/cm<sup>2</sup> (동결융해시킴 전 강도)를 발현하였다.

표 5-19 콘크리트 배합표

W/C (%)	슬럼프 (cm)	잔골재율 (%)	공기량 (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위용적 (l/m <sup>3</sup> )			단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )		
					시멘트	잔골재	굵은골재	시멘트	잔골재	굵은골재
60	12	49.5	2.7	176	93	347	354	293	888C	984

3) 사용재료

시험체(7.5×7.5×40) 및 보수용 몰탈 제작에 사용된 시멘트 및 골재의 물리적 성질은 표 5-20 ~ 5-21과 같고, S사 보수재료인 폴리머시멘트계는 몰탈제품으로써 섬유가 혼입되어 있고, 물 대신 폴리머가 섞여있는 수용액을 사용한다.

표 5-20 시멘트의 물리적 성질

비중	응결시간(h:m)		분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		
	초기	종결		$\sigma_3$	$\sigma_7$	$\sigma_{28}$
3.15	3:14	5:50	3,465	202	245	308

표 5-21 골재의 물리적 성질

종류	최대크기 (mm)	조립율	비중	흡수율 (%)	실적율 (%)	단위용적중량 (kg/l)
강모래	2.5	2.47	2.64	1.36	54.9	1.59
깨자갈	25	7.11	2.63	1.89	54.1	1.45

4) 시험방법

동결융해시험은 ASTM 666-75에 준하여 실시하였으며, 소정의 동결융해 사이클에서 공명진동에 의한 동탄성계수와 중량감소율을 측정하였다. 또한 소정의 동결융해 사이클에서 압축강도는 시험체를 7.5×7.5입방체로 절단하여 측정하였고, 부착강도는 그림 5-77과 같이 타일 인발 시험기에 의해 측정하였다.

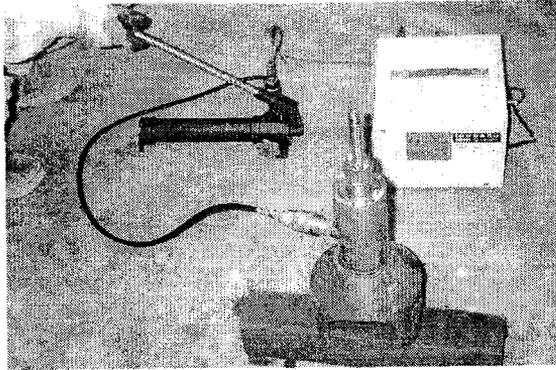


그림 5-77 타일 인발 시험기

## 5) 시험결과

### 가) 상대동탄성계수 및 중량감소율

그림 5-78은 폴리머시멘트계 보수재료로 보수한 시험체와 보수하지 않은 시험체의 상대동탄성계수를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와같이 보수를 하지 않고 계속 동결융해를 시킨 시험체는 동결융해 횟수 60cycle정도에서 약 76%가까이 떨어졌으며, 90cycle이상을 지나면 미국 ASTM에서 규정한 상대동탄성계수 60%를 벗어나는 것으로 나타났다.

동결융해를 받은 시험체를 각 보수재료로 보수한 후 재차 동결융해를 시킨 결과 모두 상대동탄성계수는 상대적으로 약간 증진하는 것으로 나타났으며 120cycle에서도 ASTM에서 규정하는 상대동탄성계수를 벗어나지 않는 것으로 나타났다.

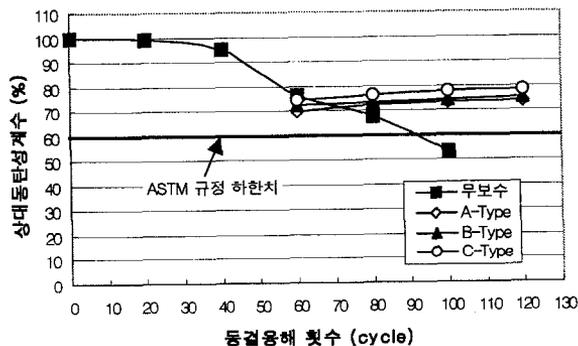


그림 5-78 동결융해에 따른 상대동탄성계수의 변화

중량감소율은 시험체에 따라 다소 차이가 있으나 상대동탄성계수와는 달리 큰 중량감소율은 보이지 않고 있다. 그림 5-79는 동결융해를 받은 무보수 시험체이고, 그림 5-80은 동결융해를 받은 보수 시험체이다.

보수를 하지 않은 시험체는 40cycle 이전부터 스케일 등이 나타나기 시작하여 60cycle 정도에서는 박리 박락 등도 나타나기 시작했다. 120cycle 이후에는 콘크리트 시험체에 손상이 크게 나타난 것이 육안으로 관찰되었다. 보수한 시험체 중 일반몰탈 (A-Type)만이 보수 후 60cycle이 지난 후에 약간의 스케일이 나타났을 뿐 고강도 몰탈(B-Type)과 폴리머 몰탈(C-Type)은 표면에 전혀 손상이 나타나지 않았다.

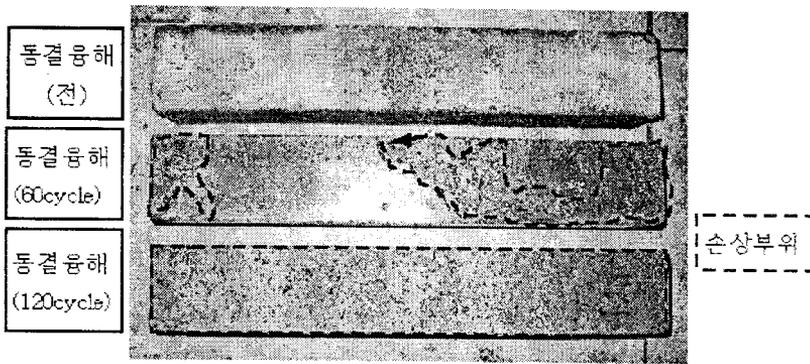


그림 5-79 동결융해에 따른 콘크리트 파괴변화

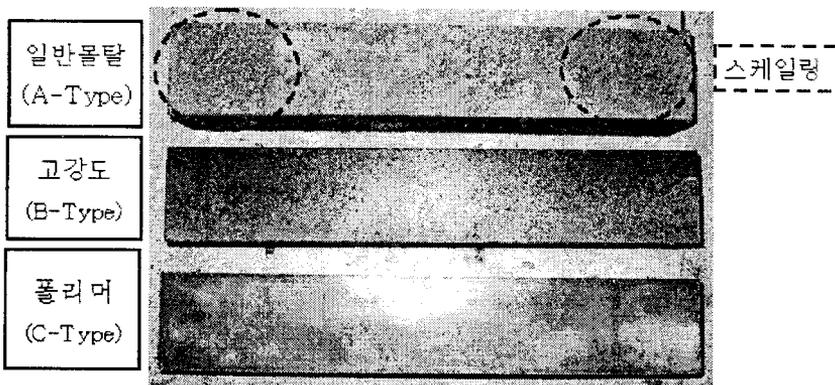


그림 5-80 보수재료에 따른 동결융해 후 형상

## 나) 압축강도변화

그림 5-81은 동결융해 유무에 따른 압축강도 변화와 보수재료로 보수한 후의 동결융해 유무에 따른 압축강도의 변화를 나타낸 것이다.

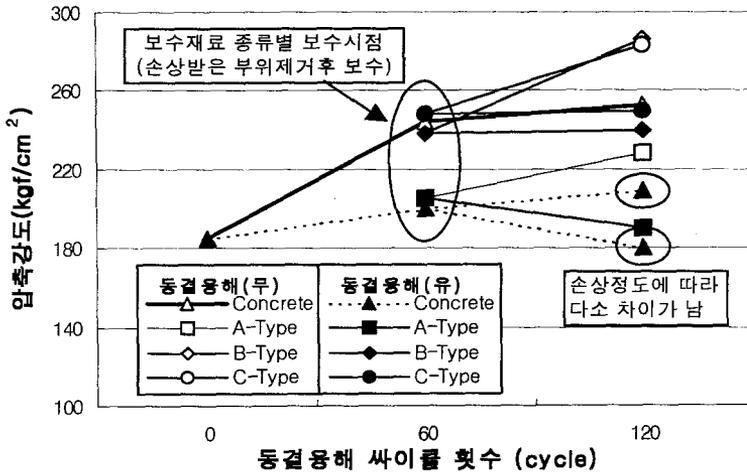


그림 5-81 동결융해에 따른 압축강도의 변화

콘크리트 시험체(7.5×7.5×40cm)를 제작하여 재령 2주(압축강도 185kgf/cm<sup>2</sup>) 후에 동결융해 유무에 따른 압축강도를 살펴보면, 동결융해를 시키지 않은 시험체는 꾸준한 압축강도 증진을 보이고 있다. 그러나, 동결융해를 시킨 시험체는 60cycle까지는 압축강도가 증가하나, 120cycle에서는 동해의 피해 정도에 따라 압축강도가 다르게 나타났다. 즉 동결융해의 피해가 적은 것은 압축강도가 여전히 증가한 경향을 보이고 있으나, 피해정도가 많은 것은 압축강도가 오히려 감소하는 경향을 나타냈다.

60cycle에서 동해를 받은 부분을 제거하고 3가지 보수재료로 보수한 후 재차 동결융해를 시키기 전에(재령 3일) 압축강도를 측정된 결과 압축강도가 보수 전 보다 다소 증진 하였다. 보수후 동결융해를 60cycle 더 시킨 결과 동결융해를 시키지 않은 시험체는 꾸준한 강도를 보이고 있으나, 동결융해를 시킨

경우는 강도 증진이 거의 이루어지지 않고 있다. 특히 일반 몰탈(A-Type)은 오히려 압축강도가 떨어지는 경향을 보이고 있다. 동결융해를 입은 고강도 몰탈과 폴리머 몰탈은 동결융해를 받지 않은 일반 몰탈과 유사한 강도를 발현하였다.

다) 부착강도의 변화

그림 5-82는 보수재료로 보수한 후 동결유무에 따른 부착강도를 측정한 결과이다. 보수후 재령 7일에 부착강도를 측정한 결과 폴리머 몰탈(C-Type)이 약 22kgf/cm<sup>2</sup> 으로 가장 높게 나타났다. 동결융해를 시키지 않은 경우는 모든 보수재료에서 부착 강도가 증진하는 경향을 보이고 있으나, 동결융해를 시킨 경우에는 부착강도가 거의 증진되지 않는 것으로 나타났다. 특히, 일반 몰탈(A-Type)은 부착강도가 감소하는 것으로 나타나 압축강도의 경우와 유사한 경향을 보이고 있다.

라) 요약

보수재료에 따른 동결융해 시험을 한 결과 고강도 몰탈(B-Type), 폴리머 몰탈(C-Type)등이 보수 후에도 동결융해 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 또한, 일반몰탈(C-Type)의 경우 초기에는 어느 정도 효과는 있으나 장기적인 동결융해에는 효과가 상당히 감소할 것으로 사료된다.

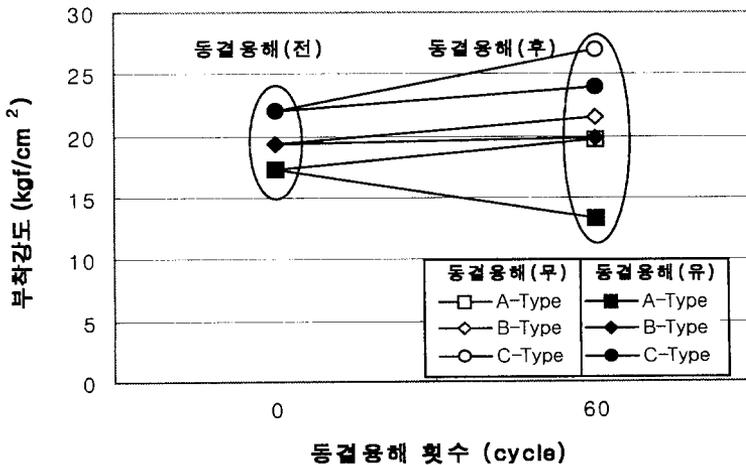


그림 5-82 동결융해에 따른 부착강도의 변화

마. 투수시험

1) 실험방법

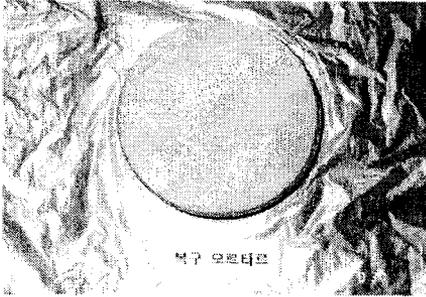
KS F 2451 ( 건축용 시멘트 방수제 시험방법)에 준하여 모르타르의 상부에 수압 3 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력을 1시간동안 걸어 모르타르의 투수시험을 실시하였다. 그림 5-83에는 각종 보수재료 투수 시험체가 나타나 있고 그림 5-84에는 시험에 사용된 모르타르 투수 시험기가 나타나있다.

2) 시험결과

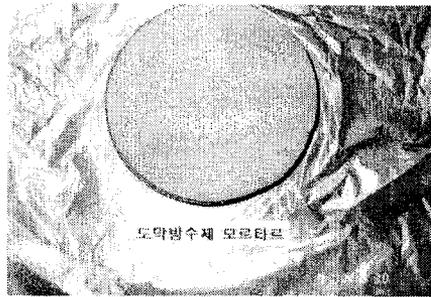
투수시험결과는 표 5-22에 나타나있다. 시험 결과를 살펴보면 보통 모르타르에 비해 타 모르타르의 경우 투수량이 몇배 적게 나왔으며, 그 외의 공시체의 투수량 차이는 10% 내외여서 성능 면에서는 크게 차이가 나지 않았다. 고강도 모르타르, 무수축 모르타르, 복구 모르타르, 도막방수제 혼입 모르타르, 중성화 방지제 혼입 모르타르 순으로 투수량이 점차 크게 나타났고 도막방수제 혼입과 중성화 방지제 혼입 모르타르의 경우에 투수량이 유사하였다.

표 5-22 보수재료의 투수시험 결과

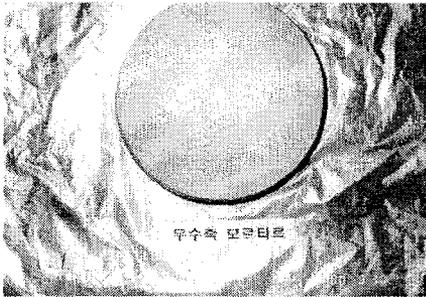
공시체 종류	투수량 (g)
일반 모르타르	86.4
고강도 모르타르	15.2
중성화 방지제 혼입 모르타르	26.2
도막방수제 혼입 모르타르	25.0
무수축 모르타르	18.9
복구 모르타르	22.3



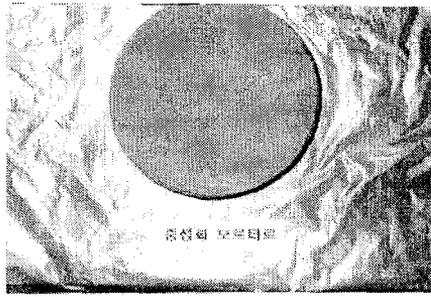
a. 복구 몰탈



b. 도막 방수제



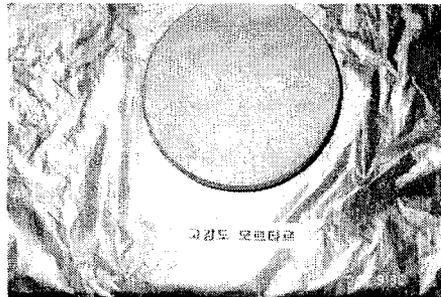
c. 무수축 몰탈



d. 중성화 몰탈



e. 일반 몰탈



d. 고강도 몰탈

그림 5-83 투수 시험체

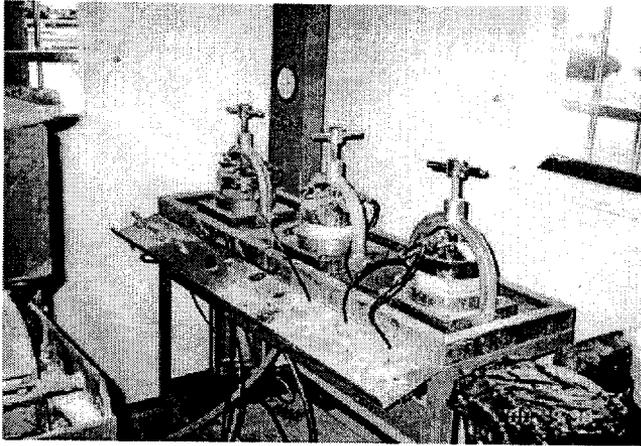


그림 5-84 모르타르 투수 시험기

바. 중성화 시험

1) 시험방법

중성화 시험은 촉진중성화 시험조에서 이산화탄소 가스 농도 5%, 온도 30℃, 습도 60% 조건으로 14일간 방치한 후, 절단하여 그 절단면을 페놀프탈레인 1% 알콜 용액을 분무하여 붉은 색으로 변하는 구역을 미 중성화 구역, 반응을 보이지 않는 구역을 중성화 구역으로 구분하여 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다. 그림 5-85에는 중성화 시험조 안의 공시체 와 중성화 시험조가 나타나있다.

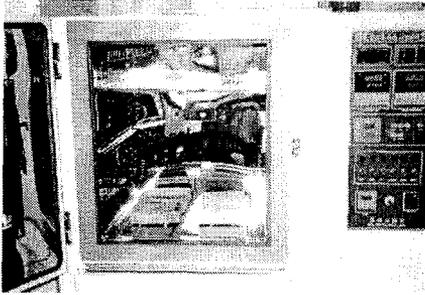
2) 시험결과

시험결과는 그림 5-86 그리고 표 5-23에 나타나있다.

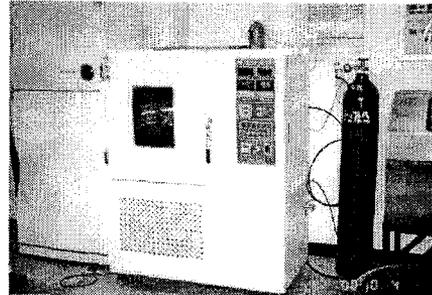
표 5-23 중성화 시험 결과

공시체 종류	중성화 깊이 (mm)
일반 모르타르	5.38
고강도 모르타르	2.70
중성화 방지제 혼입 모르타르	3.43
도막 방수제 혼입 모르타르	1.80
복구 모르타르	3.20

중성화 시험결과 일반 모르타르 보다 타 모르타르의 경우 중성화에 대한 저항성이 사진을 통해 알 수 있듯이 우수하게 나타났다. 도막 방수제 혼입 모르타르가 가장 우수하였고 고강도, 복구 모르타르, 중성화 방지제 혼입 모르타르 순으로 중성화 깊이가 크게 나타났다.

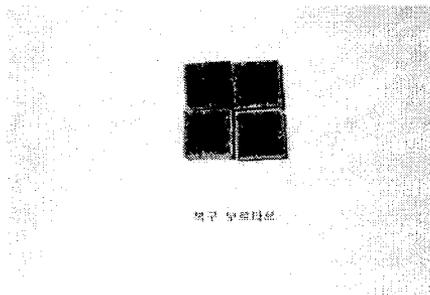


a. 시험조 안의 공시체

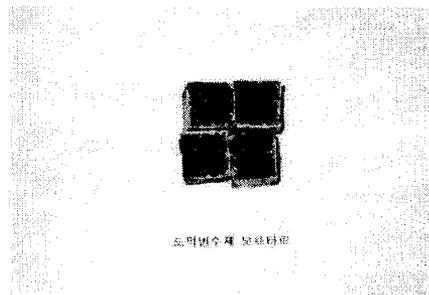


b. 촉진 중성화 시험기

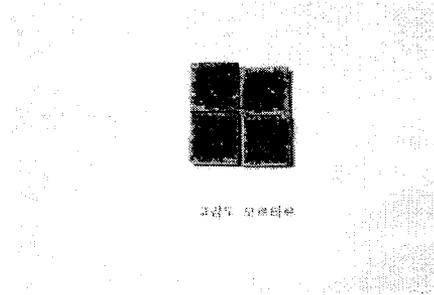
그림 5-85 촉진 중성화 시험기와 공시체



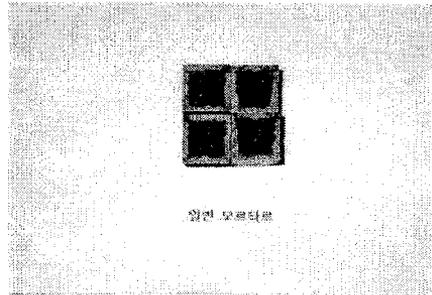
a. 복구 몰탈



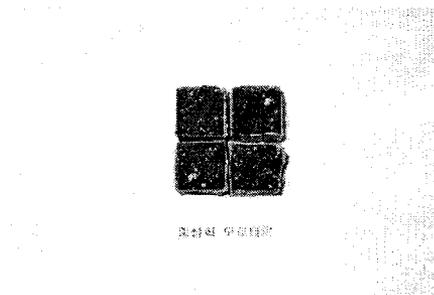
b. 도막 방수제



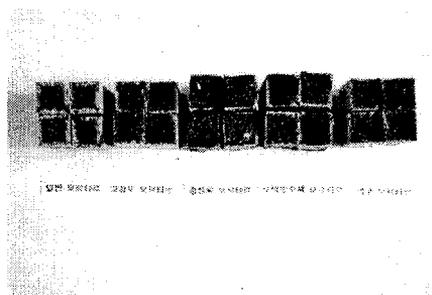
c. 고강도 몰탈



d. 일반 몰탈



e. 중성화 몰탈



f. 중성화 시험 결과

그림 5-86 보수재료 중성화 시험 결과

#### 사. 부착강도 시험

##### 1) 시험절차

(가) 시편(4cm×4cm)의 표면을 깨끗이 닦아 내고 접착용 지그(4cm×4cm) 밑면의 기름을 제거한 뒤 강력 접착제를 사용하여 시편(4cm×4cm)에 칠한 후에 시료중앙 위치에 지그(4cm×4cm)를 놓고, 충분히 시편과 지그가 접착될 수 있도록 한다. 그림 5-87과 그림 5-88에는 부착강도시험 시편과 시험기가 나타나 있다.

(나) 시편과 지그가 충분히 접착되었을 때 부착강도 시험을 실시하며 이 시험에 사용된 시험기는 최대 2,000kgf까지 측정할수 있으며, 유압식 인장방식으로 간단히 조작될 수 있다.

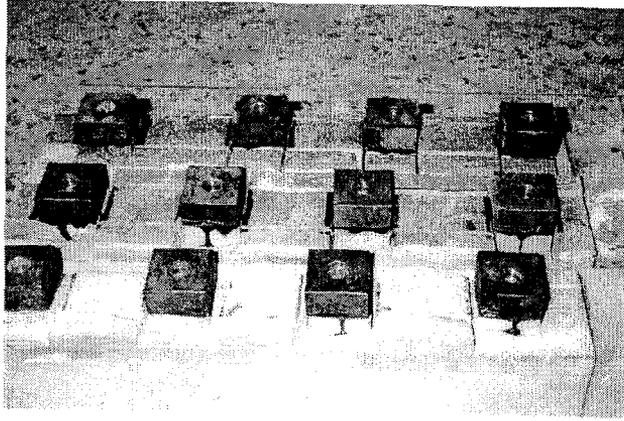


그림 5-87 부착 강도 시험 시편

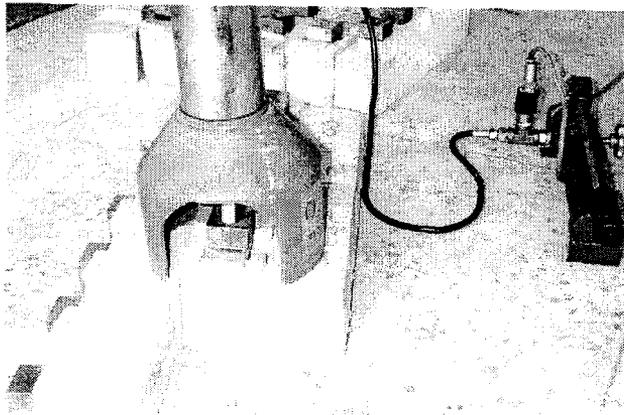


그림 5-88 부착 강도 시험기 셋업

## 2) 시험 결과

보수재료의 부착 강도는 28일 강도로써 시험결과는 표 5-24와 같다

표 5-24 보수재료의 부착강도 시험 결과

보수재료 \ 횡수	1	2	3	4	평 균	비 고
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)		
중성화 방지제	80	136	112	63	98	
도막 방수제	91	100	46	169	102	
고강도 몰탈	239	208	211	·	219	
복구 몰탈	115	106	109	·	110	
일반 몰탈	95	186	170	·	150	

위 시험 결과 고강도 몰탈과 복구 몰탈의 시험 결과는 편차가 크지 않았으나 그외 보수재료 시험 결과는 편차가 많이 발생했다. 그 원인으로는 보수재료의 시공이 균일하지 않고 시험체 제작 시의 시공불량으로 인한 것 같다.

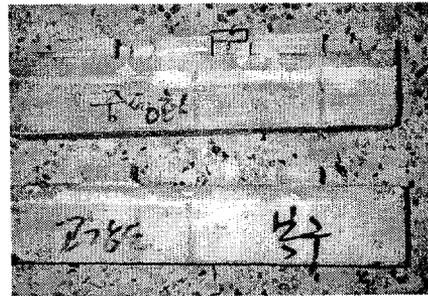
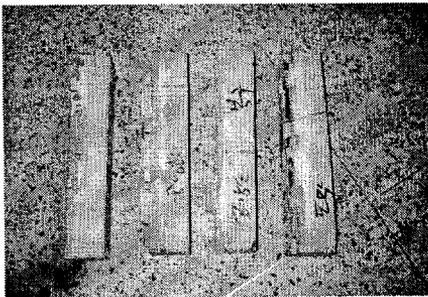


그림 5-89 시험후 시편

그림 5-89에서와 같이 부착 강도 시험 결과 모재와 보수재료의 경계부위에서 시편들의 탈락이 발생했다. 그러나 중성화 방지제가 사용된 시편의 경우(모재 + 일반몰탈 2cm + 중성화 방지제 1cm)에는 중성화 방지제와 일반 몰탈의 접촉면에서 탈락이 발생했다. 이 원인으로 중성화 방지제를 사용한 시험체의 경우에 부착강도가 가장 작게 나타났다. 고강도 몰탈의 경우에 가장 큰 부착강도가 발현되었고 일반 몰탈, 복구 몰탈 순으로 부착강도가 크게 발현되었다. 도막 방수제를 사용한 경우의 부착강도는 중성화 방지제의 경우와 유사한 결과를 보였다.

아. 마모 시험

1) 시험방법

직경 100mm, 두께 1.5~2 cm 의 시험체를 몰탈 마모 시험기에서 20000회 마모 시킨 후 단위 면적당 손실 중량을 계량하여 판정한다. 그림 5-90에는 5가지 보수 재료로 만들어진 시험체가 나타나 있다.

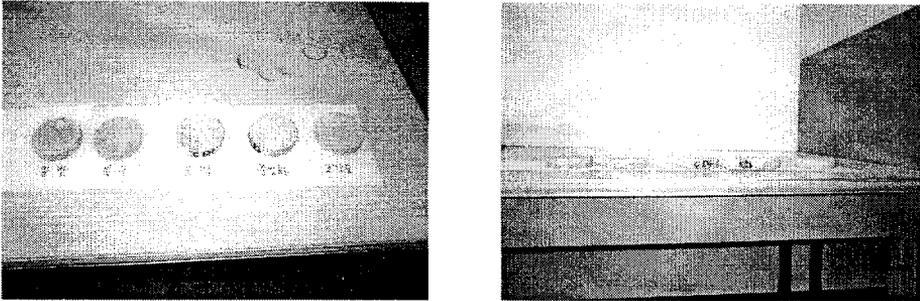


그림 5-90 마모시험 시편

2) 시험결과

아래 표에 마모시험 결과가 나타나 있는데 고강도 몰탈의 경우 다른 보수 재료에 비하여 매우 우수한 마모 저항성을 보였다. 복구 몰탈, 도막 방수제 혼입 몰탈, 중성화 방지제 혼입 몰탈 순으로 마모 저항성이 좋게 나타난다. 일반 몰탈의 경우 저항성이 가장 떨어지며 두 번째로 약한 중성화 방지제 보다도 손실 중량이 2배 이상이었다.

표 5-25 보수재료 마모시험 결과

보수 재료	일반 몰탈	복구 몰탈	고강도 몰탈	중성화 방지제	도막 방수제
손실 중량 (g/cm <sup>2</sup> )	0.12	0.03	0.009	0.059	0.048

## 자. 요약

콘크리트 수리구조물의 손상 및 열화 현상에 대하여 보수공법을 시행할 때 가장 유의 해야할 사항은 수리구조물이 일반 토목구조물에 비하여 시공 및 노출환경이 매우 열악하기 때문에 보수 재료 선정시 이러한 열악한 환경에 저항성이 좋은 재료를 고려해야 한다는 점이다. 열악한 환경에 저항성이 좋은 재료를 조사하기 위하여 콘크리트 수리구조물에 많이 사용되는 다양한 보수재료에 대하여 성능 평가 시험을 실시하였다.

시험 결과 고강도 몰탈이 마모, 부착, 중성화, 수밀성, 동해 등에 탁월한 성능을 보였다. 동해와 침식 등에는 폴리머몰탈이 아주 우수한 효과가 있었고 복구몰탈, 침투성 도막 방수제 혼입 몰탈, 중성화 방수제 몰탈의 경우도 일반 몰탈만 사용한 경우 보다 모든 성능 면에서 우수한 효과를 보였다.

#### 4. 보강공법 실험과 해석

##### 가. 서론

근래에 들어 많은 농업구조물들이 노후화 및 기계화에 따른 증량화로 인해 내하력의 급격한 감소와 사용하중의 설계하중 초과로 인해 기존 구조물들의 개축 혹은 보수, 보강이 시급한 실정이다. 이러한 상황에서 기존구조물을 활용할 수 있는 보수 보강 공법은 경제적인 면에서 큰 의미를 갖게 된다. 그러나 기존구조물을 활용하는 방법은 노후된 교량의 완전한 평가와 보강 설계방법, 시공후 평가등 많은 기술적인 문제를 내포하고 있기 때문에 현장기술자들 사이에서 신설에 비해 크게 선호되지 않고 있는면이 있는게 사실이다. 본 연구에서는 구조물의 보강공법으로 널리 알려진 단면증설공법, 거더증설공법, 프리스트레스도입공법, 접착공법 중에서 빔 혹은 슬래브의 보강에 많이 활용되는 접착공법을 빔보강에 적용하여 하중단계별 거동을 살펴보고 특히 극한상태에서의 특이거동을 파악하여 설계에 반영시킴으로써 농업구조물의 보강에 활용도를 높이기 위한것이다.

현재 구조적으로 손상을 입은 구조물등의 접착보강방법은 접합재료에 따라 강판, 카본슈트, 아라미드섬유슈트, 탄소섬유슈트 등으로 나누고 있다. 이중 1970년대 들어와 보편화 되기 시작한 강판접착 공법은 시공기간이 짧고, 구조물 사용 중에도 시공이 가능하고, 철근콘크리트 구조물의 휨, 전단에 대한 보수·보강에 경제적이고 효과적인 방법으로 인정되었고, 구조물의 인장부 뿐만 아니라 압축력과 전단력에 저항하는 부분에도 이용되고 있다.

기존의 연구는 강판 휨 보강 보의 거동에 대한 연구가 파괴하중 및 처짐등 결과론적인 향상능력에 대한 파악에 주목적을 둔 것이 많았다. 이에 본 연구는 하중 재하 단계별 보의 거동파악, 하중 재하시 예측치 못한 상이한 거동의 파악 및 이의 원인을 알아 보고자 하였다.

##### 나. 연구 내용 및 범위

실험은 무보강 철근 콘크리트 보 시험체와 강판 휨 보강된 철근콘크리트 보 시험체를 대상으로 파괴시까지 하중을 증가시켜 보강 유, 무에 따른 보강의 효율성을 비교, 검토하였다. 또한 실험 결과로부터 하중-수직변위 관계, 하중-변형도 관계를 분석하였고 강판 보강 콘크리트 보에서 강판 단부의 응력집중으로 발생한 박리파괴의 원인에 대해 알아보았다.

한편, 휨파괴가 발생한다는 가정 하에서 강판 휨보강된 철근콘크리트 보의 극한 휨강도를 계산하고, 시험체의 파괴하중과 비교하였다. 극한 휨강도는 변형도 적합 조건과 평형방정식을 이용하였으며, 강판에 부착에 의해서 발생하는 콘크리트의 인장응력을 고려하기 위해서 평균인장응력-평균변형도 관계를 고려하였다.

그리고 Michael P. Collins<sup>8)</sup>(1991)의 Layer-by-Layer Approach를 응용하여 무보강 보 및 강판보강보의 거동을 파악 및 예측하였다.

상용 유한해석 프로그램인 LUSAS를 이용 각각의 시험체의 하중-수직변위 관계, 하중-변형도 관계를 하중단계별로 비교, 분석하였고 강판 보강 콘크리트 보에서의 박리파괴를 모델링에 적용하였다.

다. 실험

1) 실험 개요

본 실험은 각각의 시험체에 대한 파괴양상, 하중-처짐 관계, 파괴하중을 구하고, 강판으로 휨보강된 철근콘크리트 보의 파괴거동을 파악하고자 하였다.

2) 실험 내용

(가) 실험 재료

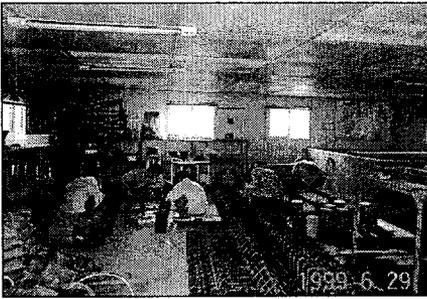
표 5-26 에서 콘크리트의 탄성계수는  $15000\sqrt{f'_c}$  이며, 인장강도는 압축강도로부터 추정된 8.3%에 해당하는 값이다. 강판은 4mm 두께의 제품을 사용하였다. 그리고 접착제는 S사(일본제품) SB#101을 사용하였다.

표 5-26 실험 재료의 특성값

재료 \ 특성		특성	
		강도(kg/cm <sup>2</sup> )	탄성계수(kg/cm <sup>2</sup> )
콘크리트		305.7(압축강도)	262264
		25.3(인장강도)	
철근(항복강도)	D13	4121	2.04 X 10 <sup>6</sup>
강판(인장강도)		2380	1.8X10 <sup>6</sup>
보강접착제(인장강도)		500	

나) 시험체 계획 및 형상

시험체는 전체 길이 2.2m, 순 스패น 2.0m, 단면 15cm × 30cm이며, 실험 변수들은 표 5-27에 정리하였다. 그림 5-91은 시험체 제작 과정이다. 시험 중 철근과 보강재의 변형도 및 하중점 하부의 변형 데이터를 정적 변형도 측정기를 통하여 얻었다. 철근의 부착강도를 고려하여 휨 시험체 단부에 5mm 강판을 설치하고 강판에 철근을 용접하여 제작하였다. 보강 시험체에 대하여 보강전에 7ton의 선행 하중을 재하한 후 하중을 제거한 상태에서 보강을 실시하였다.



(a) 실험체 배근



(b) 콘크리트 타설

그림 5-91 시험체 제작 과정

가력의 크기는 실험체 중앙 하부의 변위계와 주근에 부착된 변형도게이지 값들을 관찰하며 조절하였고, 실험체 단부에는 힌지를 설치하여 수평변위와 회전에 대한 구속을 제거하였다. 시험체 설치 및 가력장치가 그림 5-92에 나타나있다.

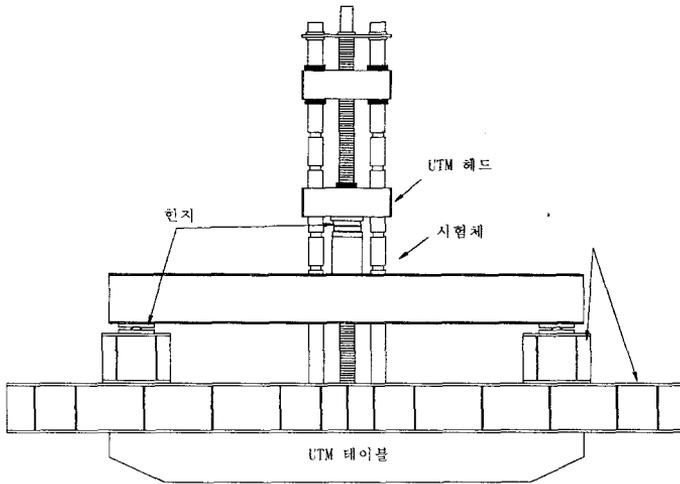


그림 5-92 실험체 설치 및 가력장치

실험체의 수직 변위 측정을 위해 중앙부 하단에 LVDT를 설치하고, 주근에 부착된 변형도게이지를 데이터 취득 시스템에 연결하여, 가력 하중, 수직 변위, 철근 변형도를 파악하면서 실험 과정을 조절할 수 있도록 하였다. 휨보강 실험체의 게이지 측정위치는 그림 5-93 에 나타나 있다. 보 보강 실험 과정은 그림 5-94와 같다.

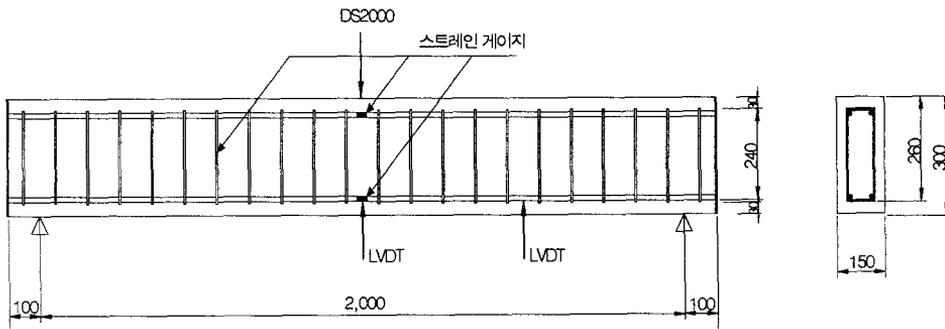


그림 5-93 휨 시험체의 측정점 위치

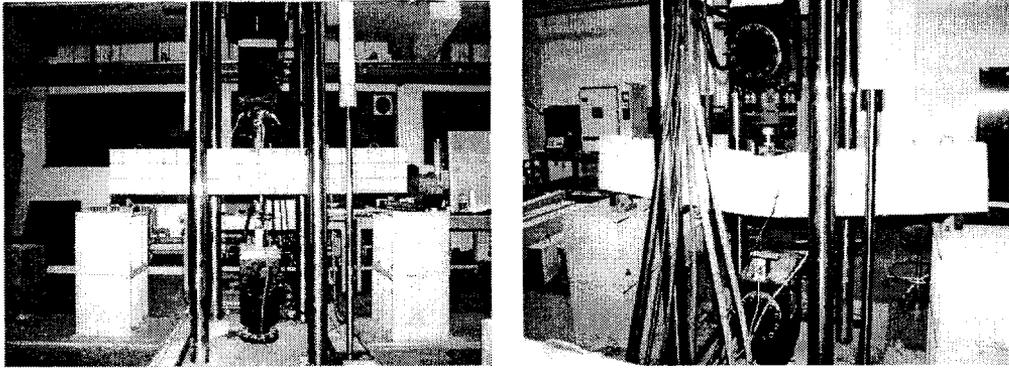


그림 5-94 보 실험 과정

표 5-27 강판 휨보강된 시험체의 실험 변수

시험체명 \ 실험변수	강판길이	균열보수
t-1	무보강	
t-2	2000mm	없음
t-3	2000mm	epoxy주입

### 3) 실험 결과

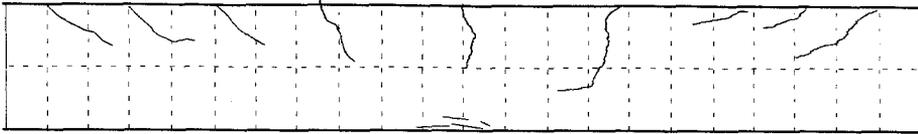
#### 가) 시험체별 파괴양상

그림 5-95는 무보강 시험체와 보강 시험체가 파괴에 도달할 때까지 진행된 균열 형상을 나타내고 있다.

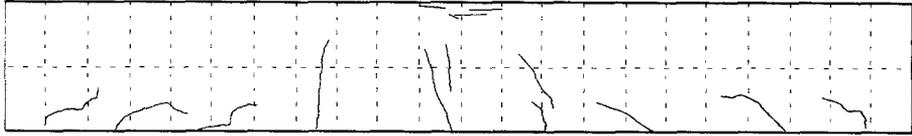
무보강 시험체에서는 인장철근이 항복한 후 콘크리트 압축부가 파괴되는 전형적인 휨파괴의 양상이 발생하였다.



a. 무보강 시험체 (t-1)의 균열 양상



b. 보강시험체(t-2)의 균열양상



c. 보강시험체(t-3)의 균열 양상

그림 5-95 시험체 균열양상

그러나 보강된 시험체들에서는 설계 휨강도에 훨씬 못 미치는 시점에서 콘크리트의 분리 파괴(Rip-off)가 발생하면서 파괴되었다. 이를 살펴보면 초기 하중 증가시 무보강시험체와 비슷한 위치 즉, 중앙부 및 근접부위에서 균열이 발생하였다. 하지만 강판의 단부에서 발생한 균열이 급격이 인장철근을 따라 진행하면서 인장철근 부위에서 콘크리트와의 분리가 일어나 파괴에 이르게 되었다.

#### 나) 시험체의 하중-처짐 관계

그림 5-97 은 무보강 및 보강시험체의 하중-처짐관계를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 보강시험체의 처짐이 무보강시험체보다 상당히 작은 것을 알 수 있다. 이는 보강으로 인해 시험체의 휨강성이 상당히 증가되었음을 나타낸다.

그림 5-97 에서 보강시험체는 취성파괴에 가까운 거동을 하지만, 처짐에는 상당히 큰 효과가 있다는 것을 알 수 있다. 무보강시험체 항복하중시의 처짐을 대상으로 산정하여 보강된 시험체들의 처짐과 비교하면 47.5% - 49.7%의 처짐 제어효과가 있는 것으로 나타났다.

그림 5-97 에서 보면 20ton이후에 조금 상이한 거동을 하는 것을 볼 수 있는데, 이는 균열을 에폭시로 보수한 구간에서의 콘크리트의 인장응력의 영향으로 보인다. 하중 재하시 지속적인 균열이 발생하였고, 강판 단부에서 균열이 발생한 이후 강판의 하중부담이 감소하고, 대신 시험체 콘크리트 및 철근의

하중부담이 가중되어 점차 비선형적인 변형도의 분포가 나타난 것으로 보이며, 이는 균열에 대한 보수를 하지 않은 시험체가 선형적인 분포를 나타내다가 파괴에 이른 것과 비교된다.

그림 5-97 에서 무보강 시험체와 보강시험체의 초기 거동을 보면 보강시험체의 강성은 증가하지 않고 무보강시험체와 유사한 것을 볼 수 있다. 이는 강판의 역할이 시험체의 휨 강성 증가와 이로 인한 파괴하중의 증가에 있는 것이 아니라 시험체의 균열 방지에 의한 파괴하중의 증가에 더 큰 비중을 두는 것이라고 볼 수 있다.

라. 해석

1) 보의 모델링

본 연구에 사용된 프로그램인 LUSAS는 유한 요소 해석법(Finite Element Method)에 기초한 구조 해석 프로그램으로써 1970년 London University Imperial College에서 개발하였다. 재료의 종류나 구조물의 형태, 크기에 제한을 받지 않으며, GUI(Graphic User Interface)환경을 제공하여 사용하기 쉬우며 Thick/Thin Beam, Thick/Thin Plate, Thick/Thin Shell, Solid 등 다양한 Element를 보유하고 있어 선형/비선형 해석은 물론 다이내믹, 내진, 좌굴, 피로, 열, 충격 해석 및 인접지반 영향 해석 등을 해결할 수 있다.

LUSAS Finite Element System 은 LUSAS와 MYSTRO 로 구성되어 있다. 여기서 LUSAS는 Finite Element Analysis를 실행하고 MYSTRO는 GUI를 통한 전, 후 처리(Pre, Post Processing)을 담당한다.

2) 해석조건

가) 요소의 부여

구조체의 형상은 해석을 위해 유한요소로 분할하는데, 본 모델링에 적용된 해석 요소들을 정리하면 표 5-28 과 같다.

표 5-28 모델링에 적용된 해석 요소

구조체	Type of Element	
철근	Line Element	BAR
콘크리트	Surface Element	Plane Stress
접착면	Joint Element	Interface

그림 5-96은 시험체를 모델링한 모습이다. 모델링 요소의 수를 줄이기 위해 시험체를 중앙부로 이동분하고 중앙부 단부에는 수직방향에 대해서만 이동이 가능하도록 지점을 설정함으로써 실제 시험체의 거동과 동일한 효과를 얻을 수 있다. 모델링에 사용된 Mesh는 철근과 강판, 그리고 콘크리트 세 가지로 나눌 수 있다. 이 중에서 철근은 Line mesh를 사용하였고, 강판과 콘크리트는 Surface mesh를 사용하였다. Mesh의 수는 횡방향으로는 10개로 나누었고, 종

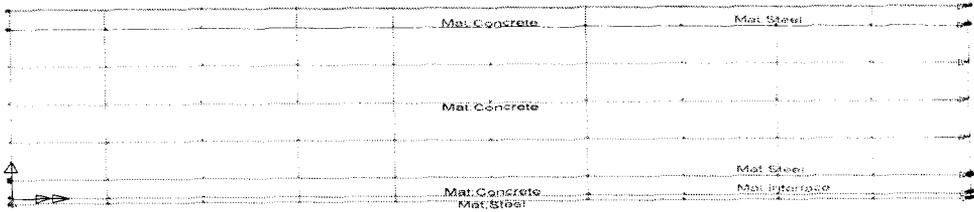


그림 5-96 보강 보의 모델링

방향으로는 강판과 철근은 1개로 처리하였다. Mesh에 대한 모델은 그림 5-96에 상세히 나타나 있다.

나) 재료특성 변수 지정

모델링에 사용된 재료특성은 아래의 표에서 나타난 것과 같다. 표 5-29에서 5-32까지의 재료 특성 변수에 대한 입력은 재료실험 결과에 근거하여 작성되었다.

표 5-29 철근의 재료특성 변수

철근				
Elastic		Plastic		
Young's Modulus	Poisson's ratio	Stress Potential (Von Mises)		
		Initial uniaxial yield stress	Hardening	
			Hardening Gradient	
			Slope	Plastic strain
200124	0.3	404.27	2121	0.1

표 5-30 강판의 재료특성 변수

강판				
Elastic		Plastic		
Young's Modulus	Poisson's ratio	Stress Potential (Von Mises)		
		Initial uniaxial yield stress	Hardening	
			Hardening Gradient	
			Slope	Plastic strain
176580	0.3	233.47	2121	0.1

콘크리트의 재료특성값은 콘크리트의 인장응력을 입력하고 이를 이용 모델링의 균열을 파악할 수 있도록 하였다. 그리고 접착제는 앞에서 설명한 바와 같은 방법으로 재료의 특성값을 입력하였다.

표 5-31 콘크리트의 재료특성 변수

콘크리트				
Elastic		Plastic		
Young's Modulus	Poisson's ratio	Cracking Concrete		
		Tensile strength	Fracture Energy	Strain at end of softening curve
25728	0.2	2.482	0	0.003

표 5-32 접착제의 재료특성 변수

접착제		
Interface		
	Mode 1	Mode 2
Fracture Energy	1	2
Initiation stress	50	50
Max. relative disp	1E-005	1E-005
Coupled	Coupled	Coupled

### 3) 실험 및 해석 결과 비교

#### 가) 하중-처짐 관계

그림 5-97은 철근 콘크리트 보 시험체와 FEM해석을 통해 얻은 하중-처짐 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 시험체의 하중 증가에 따른 처짐값과 해석에서 얻은 처짐값에 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 시험체의 콘크리트 물드의 시험체에서 얻는 탄성계수의 값이 상당히 크게 나와 결과적으로 모델링의 강성이 시험체와 상당한 차이가 나타났다. 또한 소성구간의 입력값을 너무 단순화 시킴으로써 모델링에서 오차가 발생한 것으로 생각되며, 보강보의 모델링에서는 박리파괴의 모델링에서 오차가 발생한 것으로 생각된다.

그림 5-98은 시험에서 얻은 하중-처짐 곡선에 모델링의 탄성계수값을 변경시켜 초기 강성을 시험체와 비슷하게 유지하고 이를 시험체의 거동과 비교한 것이다. 그림에서 무보강 시험체의 거동은 상당히 유사하게 나타남을 알 수 있으나, 보강시험체와 초기 거동에서 모델링의 결과와 차이가 나타남을 알 수 있다. 이는 모델링은 초기 거동에서 강판과 콘크리트의 완전합성작용을 가정 하였으나 실제 시험체의 거동은 강판의 합성으로 인한 강성의 증대가 나타나지 않았음을 알 수 있다.

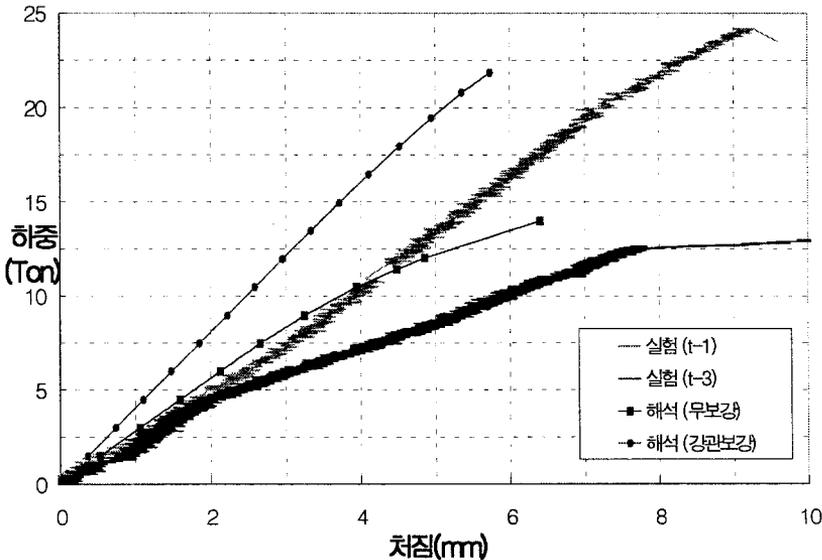


그림 5-97 시험체의 하중-처짐 관계 (시험값 적용)

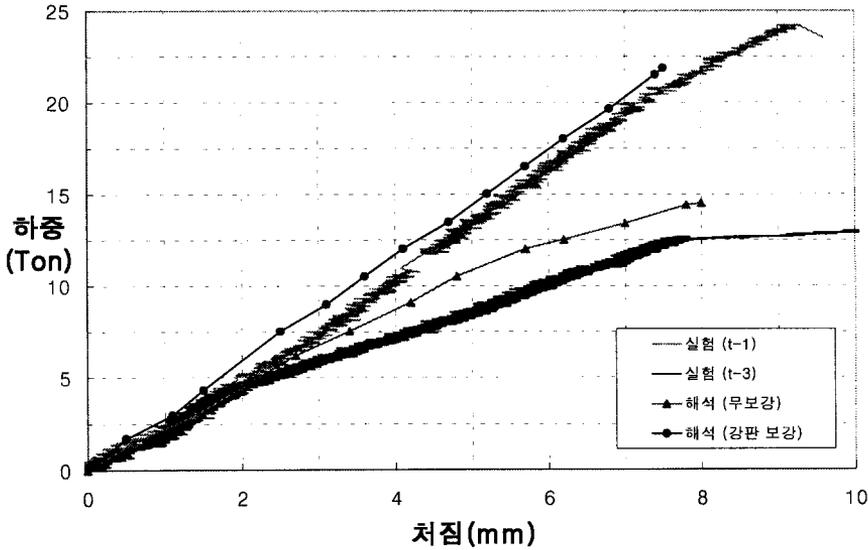


그림 5-98 시험체의 하중-처짐관계 (이론값 적용)

나) 하중-강판변형도 관계

강판의 하중에 따른 변형도를 보면 대체적으로 선형적인 분포를 이루고 있음을 알 수 있다. 이는 초기하중에서는 강판이 시험체와 완전부착거동을 하고 있음을 알 수 있다. 하지만, 일정하중 이상부터는 하중작용과는 상이한 거동을 보이며, 변형도 또한 비선형적인 분포를 나타낸다. 이것은 시험체의 하면에서 균열이 진행하여, 결론적으로 시험체 콘크리트가 하단 인장철근 부위에서 분리 파괴(Rip-off)가 발생하게 되어 나타났다. 완전부착거동을 가정으로 한 해석 결과에서는 이러한 현상으로 인한 오차가 발생하게 된다.

그림 5-99는 보강시험체와 LUSAS로 모델링한 시험체의 강판에서의 하중-변형 관계를 나타낸 것이다. 그림5-97을 보면 알 수 있듯이 보강시험체는 작용 하중 20ton 전후부터 비선형거동이 시작되었는데, 시험체의 파괴진행시 작용 하중 20ton 전후에 강판접착 단부에서 균열이 발생한 것을 볼 수 있으며, 시험체에서 콘크리트의 분리 파괴(Rip-off)가 이루어 지고 있다는 것을 알 수 있다. 이후 작은 하중증가에도 시험체의 처짐이 급속히 진행되었다. 이는 앞

장에서 설명한 바와 같이 강판접착시 하중의 집중이 강판의 단부에 집중되어, 이부분에서 가장 큰 하중의 저항을 받게 된다는것을 알 수 있다.

보강 시험체에 하중이 재하되면 초기에는 강판과 콘크리트가 일체 거동을 하며 저항하지만 이 하중이 하부 철근이 부착된 부분에서 전단균열을 유발하여 파괴에 이르게 되었다.

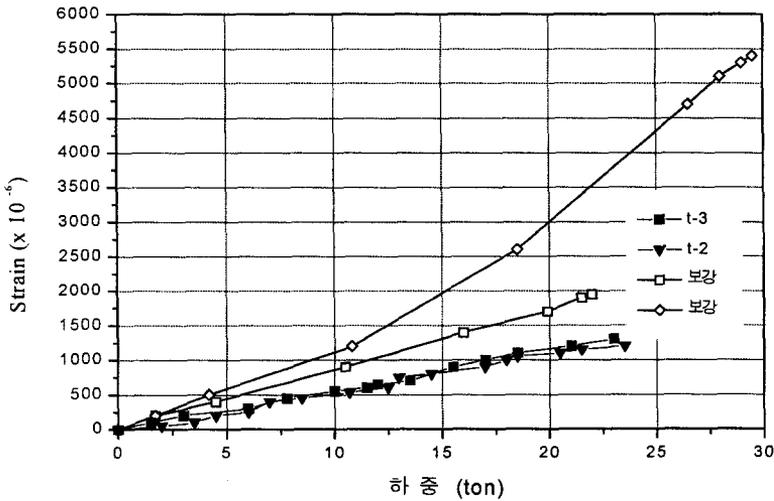


그림 5-99 하중-강판변형도 관계

#### 다) 보강 시험체의 하중-변형률 관계

철근콘크리트 보에 대한 이론적 해석을 실시할 때, '철근과 콘크리트의 완전 부착거동'은 매우 중요한 가정이다. 이 가정은 주어진 하중에 대한 시험체의 깊이에 따른 변형도 분포를 도식함으로써 확인될 수 있다. 만일 철근과 강판이 콘크리트와 완전부착거동을 하고 콘크리트 단면에서 선형적인 변형이 일어난다면, 즉 '전 깊이에 걸쳐 선형적 변형도 분포를 보인다.'라는 가정이 만족된다면, 도식된 모든 점들은 한 직선 위에 존재하게 될 것이다.

그림 5-100은 그림 5-93과 같이 시험체 중앙단면의 상하 종철근에 Strain gage를 설치하여 측정된 변형률과 LUSAS를 이용한 모델링 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 변형도가 하중의 증가에 따라 거의 선형적으로 분포하는

것을 알 수 있다. 그러나 시험체의 변형률을 보면 보강(완전접착) 보의 모델링에 의해 나온 변형률보다 작게 나오는 것을 볼 수 있다. 이는 콘크리트와 강판의 부착이 완벽히 이루어져 변형률이 시험체 깊이에 따른 선형적 분포를 이룬다는 당초의 가정과 상이한 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 접착제의 미끄러짐(Slip)으로 강판 변형률의 감소가 나타날 수 있으며, 또한 콘크리트의 박리파괴 진행시 발생하는 크랙으로 인한 변형률의 감소도 나타날 수 있다.

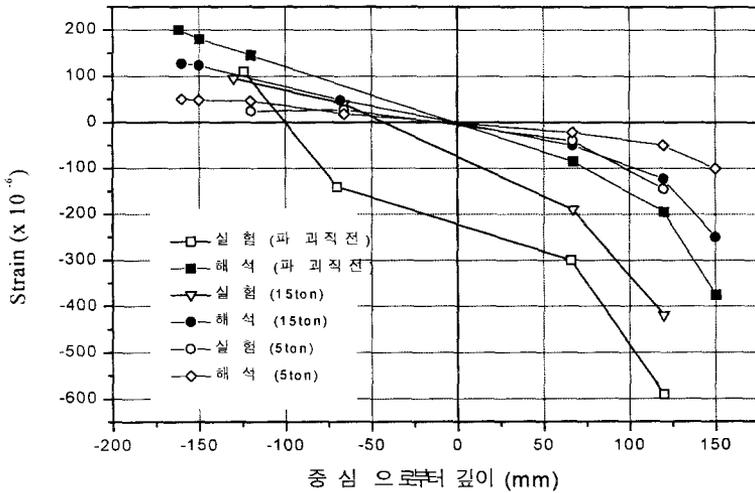


그림 5-100 하중 - 변형률 관계

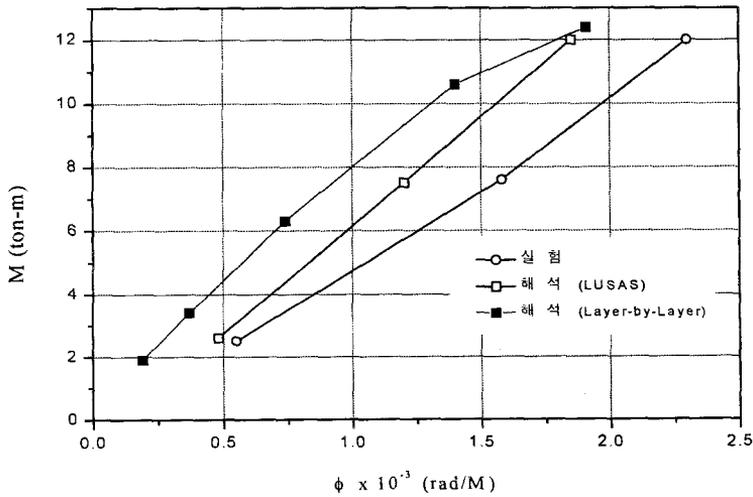
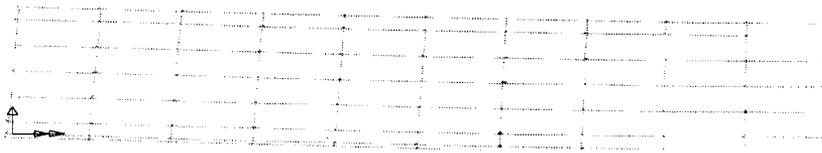


그림 5-101 M-φ 곡선

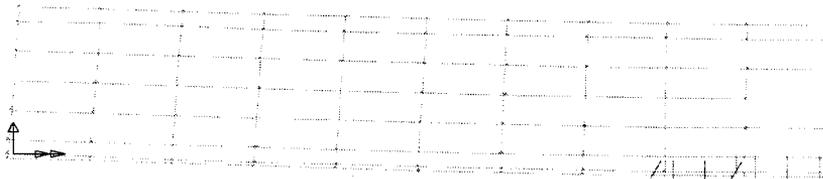
그림 5-100에서 중립축의 위치를 추정할 수 있는데, LUSAS 모델링에서는 중심에서 하부쪽으로 약 15mm 근처에 나타나고, 시험체에서는 하부쪽으로 110mm 근처에서 나타난다. 이는 LUSAS를 이용 모델링 할때 콘크리트의 박리파괴가 아닌 접착제의 파괴로 모델링 한 것에 대한 오차로 생각된다. 그림 5-101은 하중-변형률 관계를 이용한 모멘트-곡률관계가 나타나 있다.

라) 하중 단계별 균열 분포

그림 5-102는 하중 재하 단계별 균열의 발생모습을 LUSAS를 이용하여 모델링 한 것으로 초기 하중에 대한 균열 발생 모습은 상당히 유사하였다. 그러나 그림 5-102c 와 그림 5-103을 비교하면 시험체와 모델링의 파괴모드의 상이함을 알 수 있다. 그림 5-103은 시험체의 파괴상태의 모습으로 콘크리트의 하부가 심하게 파괴된 것을 볼 수 있는데 특히 강판과 하부철로 사이의 콘크리트 분리가 확연하다. 이는 앞에서 말한바와 같이 강판의 횡방향 하중 발생으로 인한 인장균열로 인한 박리파괴를 나타내는 것이다. 만일 시험체가 박리파괴가 발생하지 아니하고 강판의 인장으로 인한 파괴가 일어났을 경우 LUSAS의 모델링과 큰 차이가 없을 것으로 생각된다.



a. 5Ton 재하



b. 15 Ton 재하



c. 파괴하중 재하

그림 5-102 하중증가에 따른 균열 양상

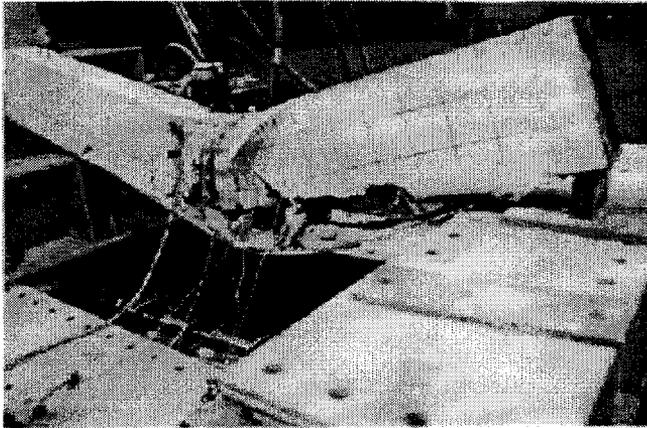


그림 5-103 보강 시험체의 파괴모습

마) 파괴하중 비교

앞서 제시한 방법을 이용하여 파괴하중을 구하고, 이것을 실험값과 비교·정리하여 표 5-33에 제시하였다.

표 5-33 시험체 철근콘크리트 보의 파괴하중 분석

(단위: ton)

시험체명 \ 파괴하중	실험치	이론치				
		극한휨강도	Layer-by Layer Approach	박리하중	LUSAS	
					Rip-off 무시	Rip-off 고려
t-1	14.07	9.897	15.41		14.268	
t-2	24.193	26.393	24.39	22.37	30.114	22.237
t-3	24.089					

이 표에서의 이론치는 다음 세 가지 방법으로 계산된 값이다. 이 값들은 인장철근과 에폭시로 접착된 강판이 가정과 같이 완전접착하였다고 보고, 전단 파괴가 발생하지 않는다는 가정하에 극한휨강도를 계산한 것이다.

- (1) 극한 휨강도는 ACI 규정에 의해서 계산한 공칭강도로서 콘크리트 압축단의 극한변형도로 0.003을 사용하여 얻는 방법
- (2) Layer-by-Layer Approach를 사용하면서, 중립축 이하 콘크리트에 발생하는 인장응력을 고려하는 방법
- (3) 상용 프로그램인 LUSAS를 이용한 FEM해석

표 5-33 보이는 것 처럼 실험 파괴강도는, 여러 이론을 적용한 이론치의 79% - 108%로 나타났다. 본 연구에서는 휨파괴시 일반적으로 단순보에서 최대모멘트가 발생하는 중앙단면이 가장 취약단면이지만, 강판으로 보강된 보에서는 앞에서 알아본 거동과 같이 보강이 끝나는 단면에서 응력이 집중되어 취약부위가 되는 것을 알 수 있으며, 파괴 양상 역시 급격히 발생하는 위험을 안고 있다는 것을 알 수 있다. 표 5-33에서 박리하중은 Jones Theory를 이용 계산한 값이다. 이 박리하중은 실제 시험의 약 92%의 값을 나타냈다. 이것으로 볼 때 Jones Theory는 결과적으로 실제 시험체의 거동을 상당히 근사하게 설명했다고 볼 수 있다.

마. 요약

본 연구는 보 시험체에 에폭시를 이용, 보 하부에 강판을 접착한 휨보강된 철근

콘크리트 보 시험체에 대한 실험을 통하여 처짐, 파괴양상 및 하중등을 파악하고, 휨파괴가 발생한다는 가정 하에서 보강시험체의 극한휨강도, Stress block을 이용한 휨강도, 상용 FEM 프로그램인 LUSAS를 이용한 계산값을 실험 파괴하중과 상호 비교하였다.

보강 시험체는 보강 전 7 ton의 선행하중을 부여하였고, 실험결과로써 하중-처짐 관계, 하중-인장철근변형도 관계, 하중-강판변형도 관계를 분석하였고, 파괴하중을 구하였다. 본 연구를 통해서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 실험에서 보강시험체는 무보강 시험체에 비하여 파괴하중이 167% - 171% 증가하였고 처짐은 47.5% - 49.7% 감소하였다. 보강으로 인하여 구조물의 내하력 및 사용하중 증가에 큰 효과가 있다는 것을 알 수 있다.
- (2) 선행하중 재하 후 발생한 균열의 보수여부는 강판보강 시험체의 거동에는 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 균열의 발생여부가 보강 후 내하력과는 큰 상관관계가 없음을 나타낸다.
- (3) 보강 시험체의 강판의 역할이 시험체의 파괴하중은 증가시키나, 예상한 바와 같이 휨 강성 증가에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.

## 제4절 요약 및 결론

본 장의 연구 목적은 현재 국내 외에 개발되어 있는 각종 구조물의 보수공법(재료, 방법), 보강 공법 등을 수집하고 분석하여 농업 수리구조물에 적합한 공법으로 개량한 후 DB化하고 손상 및 열화 원인별로 최적 보수·보강 공법을 선정할 수 있는 System개발에 있다. 본 장의 요약 및 결론은 다음과 같다.

1. 농업 수로구조물에 대한 손상 및 열화 원인을 현황조사와 실내·외 실험을 통하여 분석한 결과 시공과 노출환경이 주요원인이었다. 동절기 시공, 시공관리의 어려움, 낮은 설계강도, 물과의 빈번한 접촉, 동결융해, 침식 등의 원인이 콘크리트의 손상 및 열화를 가속시켜서 일반 토목구조물보다 성능 저하가 심하였다. 농업 수로구조물의 내구성능 저하의 주요원인을 시공적인 측면과 사용 및 노출 환경적인 측면에서 분류하면 다음과 같다.

- 가. 시공시 철근에 대한 피복두께를 충분히 확보하지 않았으며, 콘크리트에 많은 양의 점토를 함유한 상태에서 묽은 비빔 콘크리트로 시공함으로써 재료분리가 야기되어 구조체 콘크리트의 내구성이 크게 손상된 것으로 판단된다.
- 나. 농업 수로구조물의 특성상 다른 구조물에 비하여 물의 침투가 빈번하여 구조체의 수용성 물질이 외부로 용이하게 용출됨으로 구조체의 다공화가 촉진된 것으로 사료된다.
- 다. 수용성 물질의 용출에 의해 생긴 공극 속에 상대적으로 많은 양의 수분을 함유하여 동절기에 동결융해에 의한 피해를 크게 받기 때문에 구조체의 균열 및 박리가 심화된 것으로 판단된다.
2. 콘크리트 수리구조물의 손상 및 열화 현상에 대하여 보수공법을 시행할 때 가장 유의해야 할 사항은 수리구조물이 일반 토목구조물에 비하여 시공 및 노출환경이 매우 열악하기 때문에 보수 재료 선정시 이러한 열악한 환경에 저항성이 좋은 재료를 고려해야 한다는 점이다. 열악한 환경에 저항성이 좋은 재료를 조사하기 위하여 콘크리트 수리구조물에 많이 사용되는 다양한 보수재료에 대하여 성능 평가 시험을 실시하였고 결과는 다음과 같다.
- 가. 고강도 몰탈이 마모, 부착, 중성화, 수밀성, 동해 등에 탁월한 성능을 보였다.
- 나. 동해와 침식 등에는 폴리머몰탈도 아주 우수한 저항능력을 보였다.
- 다. 복구몰탈, 침투성 도막 방수제 혼입 몰탈, 중성화 방수제 몰탈의 경우도 일반 몰탈만 사용한 경우 보다 모든 성능 면에서 우수한 효과를 보였다.
3. 내하력을 회복시키거나 증진시킬 필요가 있는 대표적인 수리구조물인 농로교와 수로교의 손상된 슬라브의 보강에 적용 가능한 보강공법을 균열을 발생시킨 보에 실시하고 평가실험을 수행하여 농업 구조물에 적합한 보수·보강공법을 선정하고자 하였다. 철근콘크리트 보 시험체에 대한 실험 결과를 살펴보면 다음과 같다.
- 가. 보강시험체는 무보강 시험체에 비하여 파괴하중이 167% - 171% 증가하였고 처짐은 47.5% - 49.7% 감소하였다. 강판 접착보강이 구조물의 내하력 및 사용하중 증가에 큰 효과가 있다는 것을 알 수 있다.
- 나. 선행하중 재하 후 발생한 균열의 보수여부는 강판보강 시험체의 거동에는 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 균열의 발생여부가 보강 후 내하력과는 큰 상관관계가 없음을 나타낸다.

다. 보강 시험체의 강판의 역할이 시험체의 파괴하중은 증가시키나, 예상한 바와 같이 휨 강성 증가에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.

4. 최적 보수·보강 공법 선정 System의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

가. 구조별 혹은 부재별로 손상 및 노후화 형태에 따른 210여개의 보수·보강 공법이 수집 분석되고 개량되어 다양한 농업 수리구조물의 부재별 손상 및 노후화 형태에 따라 적절한 보수·보강 공법을 선택 할 수 있게 DB체계가 구축되었다.

나. 각 공법의 용도 및 목적 그리고 설계 및 시공방법을 공법별로 파일에 저장하고 선정 System 체계에 연계하여 시공시에 지침이 되게 하였고 발전되는 재료 및 방법을 채택하여 공법을 개량할 수 있게 하였다.

## 제6장 시스템 개발 및 현장적용

### 제1절 시스템의 개발

#### 1. 시스템 개발 방법론

제4장에서 설명한 구조물별, 조사내용 표기방법, 부위별 상세한 결함 및 결함의 고유번호, 점수체계와 판정 Rule을 이용하여 농업 구조물 안전진단 및 보수·보강, 신설 대책 수립 시스템 (안전진단 및 대책 결정 시스템, SAD : System for Appraisal and Decision)을 개발하였다.

농업시설물과 구조물을 분류하고, 이러한 시설물의 현황조사와 구조물의 안전도의 평가를 위하여 각 시설물의 기능별 객체를 관계형 데이터베이스를 이용하여 관리할 수 있도록 설계하였다. 본 시스템은 사용자 접속환경(Graphic User Interface)과 파일 시스템을 이용하여 자료를 입력, 갱신, 삭제하며 입력된 자료를 이용하여 객체를 생성하고 생성된 객체를 Graphic처리, 검색하여 필요한 자료를 관리자에게 제공하는 구동 체계를 가지고있으며, 사용자의 편의를 고려하여 메뉴와 윈도우 방식을 채택하였으며, 데이터베이스를 사용하여 조사자료의 입력과 분석구조의 정의에서 부터 하나의 시스템에서 처리하도록 하였다. 또한 개인별 데이터베이스를 이용하여 진단결과와 현장에서 촬영한 각종 사진자료를 안전진단 기술자가 추후 확인하거나, 증빙자료로 제출할 보고서 작성을 지원할 수 있도록 하였다.

#### 가. 객체의 분류

농촌지역의 수리시설물과 구조물을 분류하고, 이러한 시설물의 현황조사와 구조물의 안전도의 평가를 위하여 각 시설물의 기능별로 객체를 정의함으로써 객체를 설계할 수 있다. 이 객체의 속성과 조사자료의 관리는 관계형 데이터베이스를 이용하도록 정의하였기 때문에 객체지향 설계에서는 시설물의 자체관리정보(위치, 조사항목에 관한 형태의 그래픽정보와 자료의 운용을 위한 정보)를 제공한다.

표 6-1 하천 및 수리시설물 클래스

클래스군	클래스	비고
하천	하천	선
시설물	저수지(제체 및 구조물)	점
	양수장, 보, 교각, 교대	점
	옹벽, 수로교, 교량	선
	터널	선

나. 클래스의 정의

1) 클래스 계층구조

시스템의 클래스 계층구조는 객체지향 프로그래밍 측면에서 그래픽 처리부분, 하위객체정의부분, 객체 조정부분으로 구성되어 있다. 그래픽처리부분은 최상위의 추상화된 객체인 Object Shape을 상속받은 PointDraw2D, LineDraw2D, RectangleDraw2D, PolygonDraw2D가 각각 점, 선, 사각형 및 면을 나타낸다. 그리고 이러한 그래픽 부분을 상속받은 각 오염원 및 하천객체가 각각의 필요한 정보만을 가지게 된다. 따라서 그래픽 부분과 실제객체를 분리함으로써 프로그램의 개선이 용이하고, 새로운 객체를 생성할 때에도 그래픽 부분을 상속받게 되면 쉽게 새로운 객체를 생성할 수 있다.

2) 클래스의 정의

클래스는 이미 설명한 바와 같이 그래픽부분과 시설물 및 하천으로 나타내는데 각 시설물의 객체는 선형, 점 자료로 구성되며, 하천 주변 마을이나, 산업단지 등의 주변환경은 면 자료를 사용할 수 있는 객체에 포함한다.

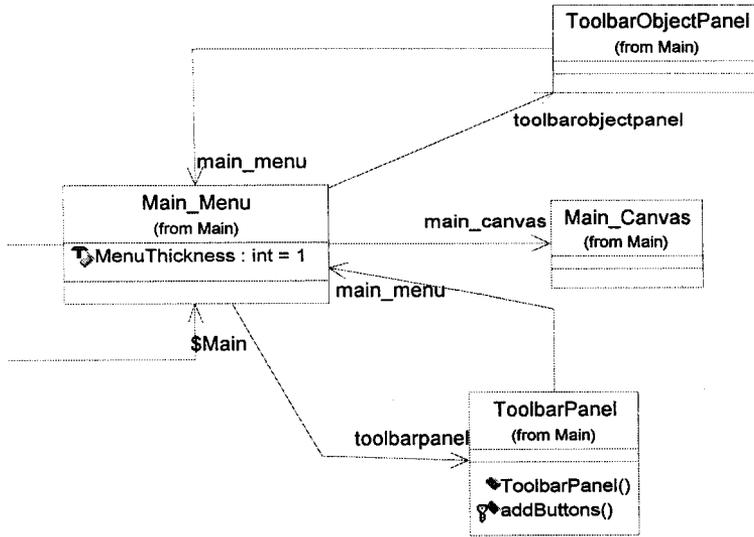


그림 6-1 사용자 Interface 구성 객체

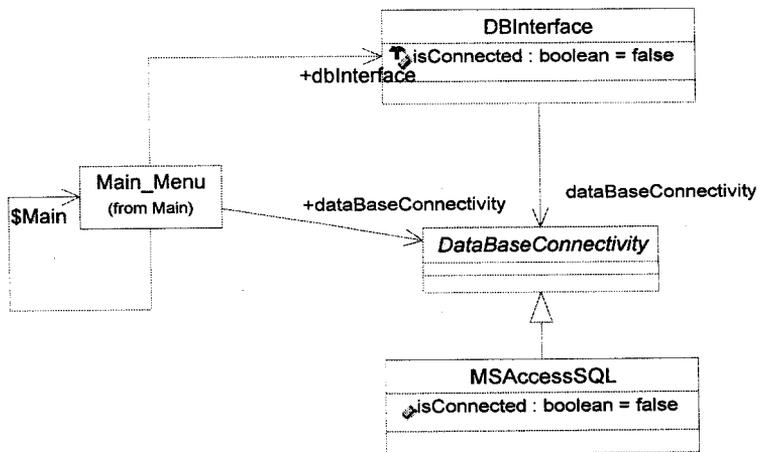


그림 6-2 데이터베이스 관리객체

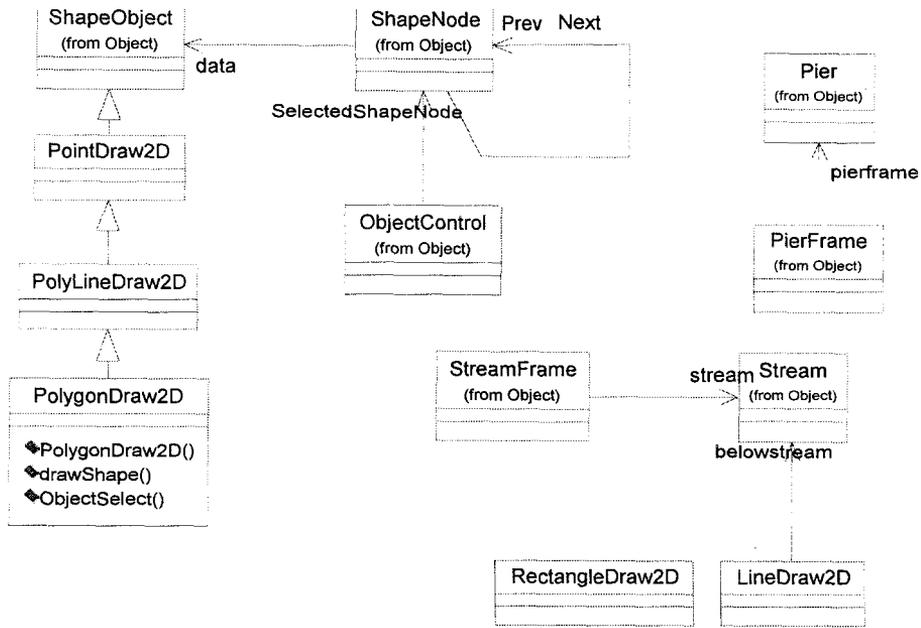


그림 6-3 시설물과 하천 객체의 도형정보 관리객체

#### 다. 시스템의 구동체계

본 시스템은 그림6-1과 같이 사용자 접속환경(Graphic User Interface)과 파일 시스템을 이용하여 자료를 입력, 갱신, 삭제하며 입력된 자료를 이용하여 객체를 생성하고 생성된 객체를 Graphic처리, 검색하여 하천환경관리에 필요한 자료를 관리자에게 제공하는 구동 체계를 가지고 있다. 내부적으로는 객체간의 상호 메시지 교환, 데이터베이스와 객체간의 자료교환 및 모니터링을 통한 자료교환으로 데이터의 흐름을 이룬다.

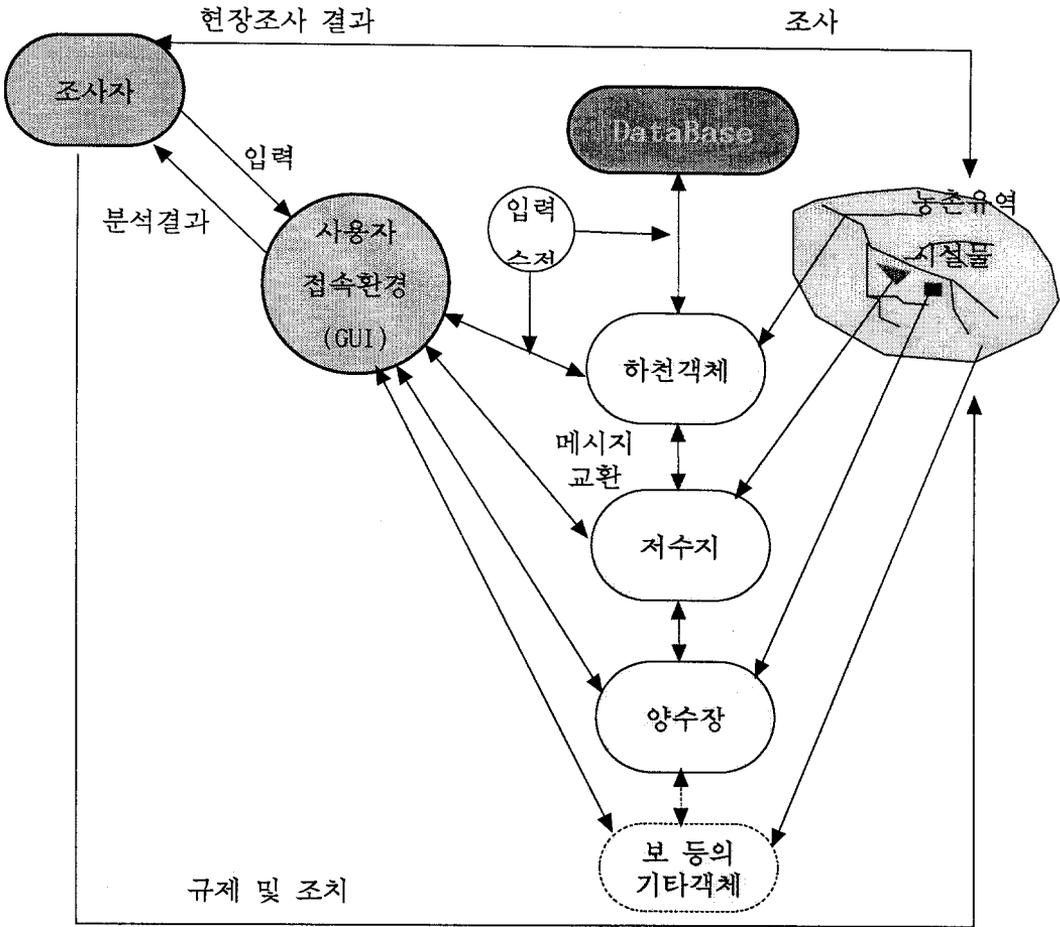


그림 6-4 시스템의 구동체계.

라. 객체의 개발

분류된 각 객체들은 클래스로 정의되고, 각 클래스들은 세부적으로 속성과 메소드로 구분하여 정의되어야 한다. 본 연구에서는 각 객체들에 대하여 클래스 이름, 속성, 메소드, 아이콘(icon) 등으로 정의하여 표 6-2와 같이 나타내었다.

표 6-2 주요 시설물 클래스 구성

객체	클래스	속성관리 클래스	메소드
하천	Stream	Stream	
저수지	Reservoir	ReservoirFrame	
양수장	Pump	PumpFrame	
보	Weir	WeirFrame	
수로교	WaterBridge	WaterBridgeFrame	
교량	Bridge	BridgeFrame	
터널	Tunnel	TunnelFrame	
암거	Culvert	CulvertFrame	
교각, 교대	Pier	PierFrame	

## 2. 안전도 조사 및 보수·보강 시스템의 개발

시스템은 사용자와의 친밀한 대화, 응용 모형과의 통합, 의사 결정 지원 등의 기능을 가져야 한다. 본 연구에서는 사용자의 편의를 고려하여 메뉴와 윈도우 방식을 채택하였으며, 데이터베이스를 사용하여 조사자료의 입력과 분석구조의 정의에서부터 하나의 시스템에서 처리하도록 하였다.

### 가. 기본화면의 구성

시스템의 기본화면은 그림6-5과 같이 메뉴, 아이콘 및 캔버스로 구성하였다. 메뉴는 풀다운 방식과 버튼 방식 등을 혼합하여 각 프로그램을 실행하도록 구성되었으며, 아이콘 버튼에는 사용자가 빈번하게 사용하는 객체와 결과의 검색에 관한 기능을 포함하도록 하였고, 캔버스에는 관리 대상 유역에 관한 도면을 나타내도록 하였다.

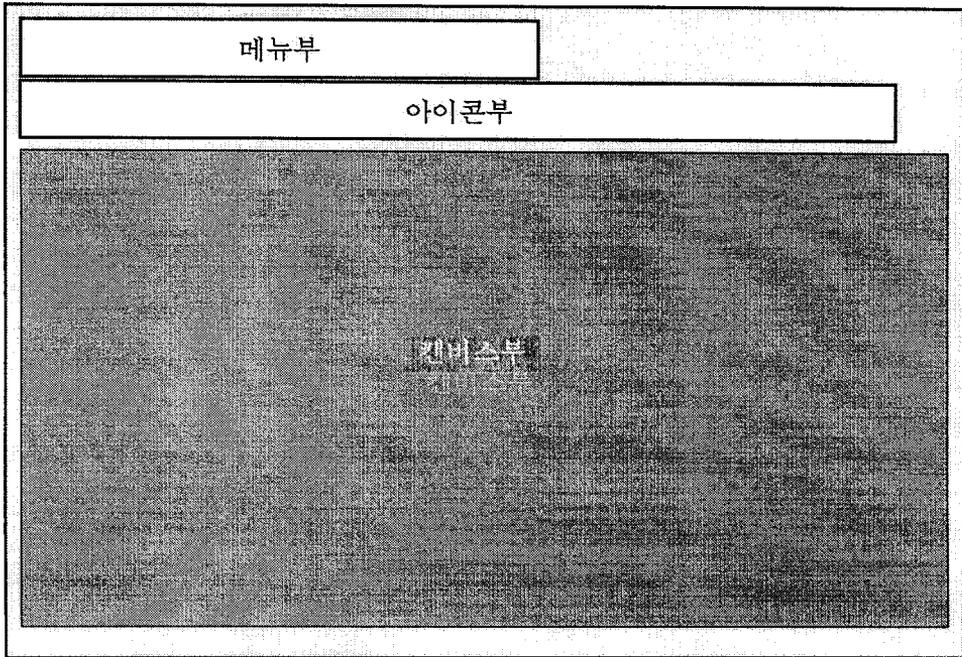


그림 6-5 농촌지역 수질관리 시스템의 기본화면.

#### 나. 메뉴의 구성

시스템의 메뉴는 그림 6-10과 같이 구성하였다.

농조 지구별 시설물관리 시스템에서 입력한 시설물 단위의 안전진단 및 보수보강 공법 선정 데이터베이스 운영 시스템은 그림 6-6과 같다.

본 시스템은 개인별 데이터베이스를 이용하여 진단결과와 현장에서 촬영한 각종 사진자료를 안전진단 기술자가 추후 확인하거나, 증빙자료로 제출할 보고서 작성을 지원할 수 있도록 하였다.

데이터베이스는 안전진단 현장 조사표를 기준으로 데이터를 입력하기 위해서 설계하였다. 이 조사표는 1차년도 연구결과로부터 구조물 단위로 구조부위별 입력하도록 설계된 안전진단 요령에 따른 것이다. 따라서 이 시스템의 사용은 가장 먼저 데이터베이스를 선택하고 나서 시작할 수 있다.

자료관리의 기본환경은 농조지구의 시설물을 관리할 때 객체 단위로 이루어지므로 시설물 관리에서 구조물을 입력하는 순간, 조사표 입력 화면폼과 구조물의 성능 계산, 지구전체 수자원 시스템의 기능성 평가 등을 동시에 확인할 수 있는 시스템,

안전진단을 위한 기초시스템으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

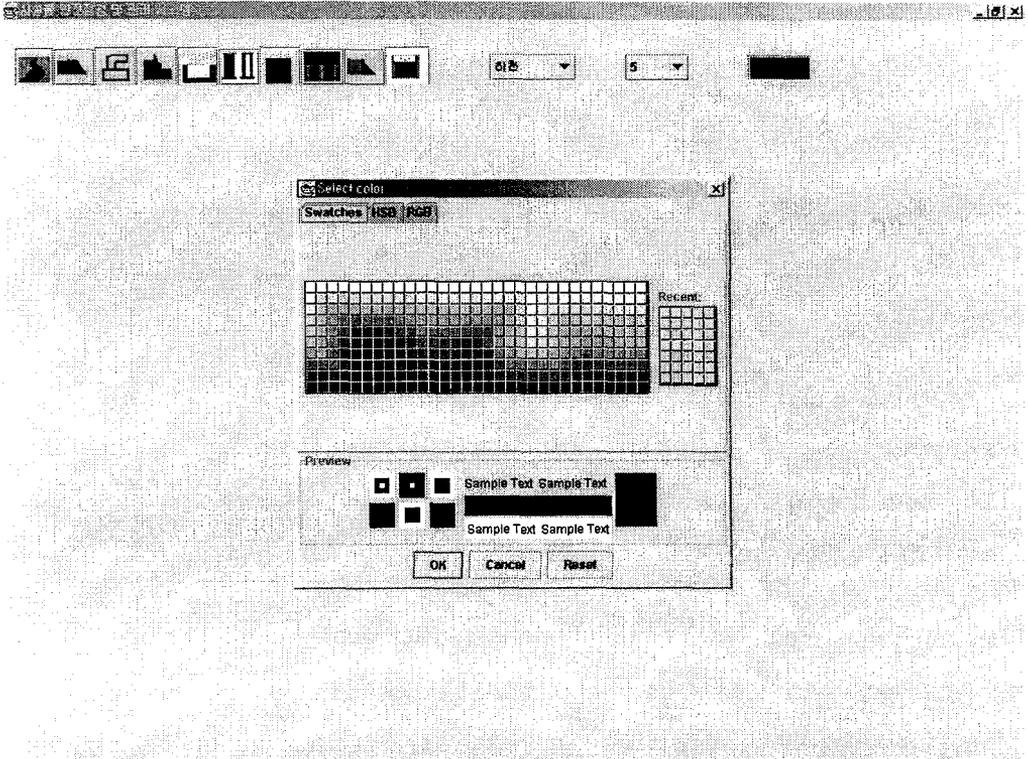


그림 6-6 전체 시스템 초기화면과 바탕화면 선정



그림 6-7 데이터베이스 연결관리 화면

시스템의 전체 사용자 메뉴는 다음 그림 6-8과 같다. 새로운 지구관리와 입력은 그림 6-9의 파일 메뉴에서 처리할 수 있다. 각 단위 업무별로 시스템 메뉴를 구분하고, 각 메뉴에서 안전진단기술이나 보수·보강 공법에 대하여 새롭게 등록할 수 있도록 하였다.

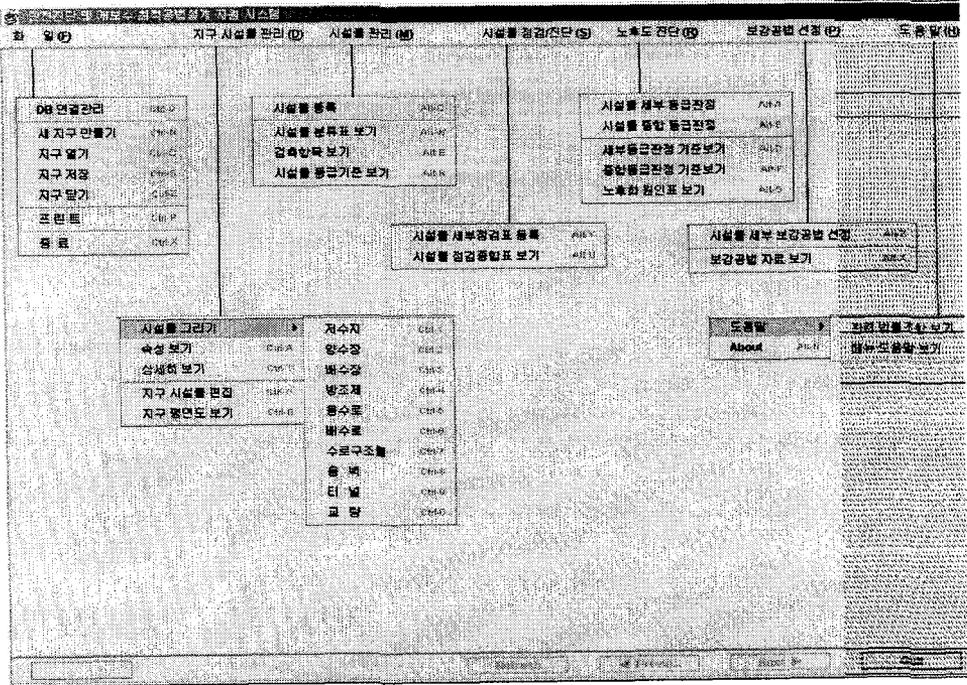


그림 6-8 시스템의 전체 사용자 메뉴

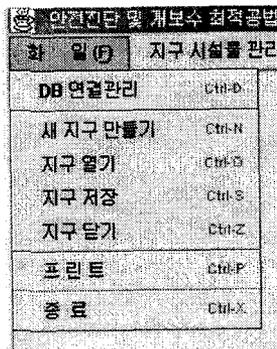


그림 6-9 파일메뉴에서 지구관리 메뉴선택

표 6-3 주요 메뉴의 기능설명

메뉴	부메뉴	기능	도구 단추	비고
파일	지구열기	데이터 파일 열기		
	데이터베이스 관리	지구의 점검자료와 시설물 데이터베이스 연결 관리		
시설물작성 /관리	시설물(저수지)	저수지 등록/ 및 수정		
	교량, 교각, 교대	등록 및 수정	 	
	수로교, 옹벽			
	암거, 터널			
점검/진단	시설물 세부등급판정	시설물의 노후화 원인별 가중치를 이용하여 시설물 세부 구조의 등급판정		
	시설물 종합등급판정	시설물의 세부등급의 합계로부터 세부구조의 중요도를 평가하여 종합등급 결정		
도움말				

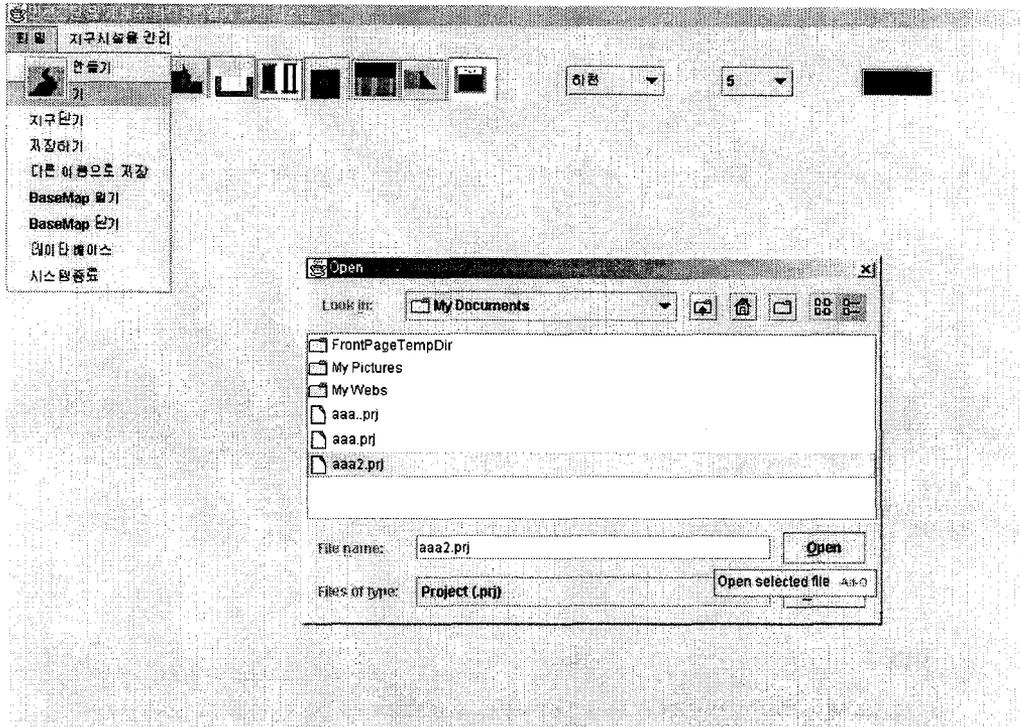


그림 6-10 지구초기 자료 열기 메뉴

#### 다. 객체의 속성 입력 프로그램의 구성

각 객체를 도면에 그리고 속성을 입력하기 위해서는 각 속성에 대한 입력 편의 프로그램이 필요하다. 본 연구에서 개발한 농촌지역 시설물관리 시스템은 GIS 기능을 일부 가진 것으로 관리 대상 구역의 도면을 바탕으로 하고 있다. 따라서 도면을 편집하고 각종 검색 조건에 따라 결과를 도면으로 나타낼 수 있는 그래픽 에디터를 개발하였다. 각 객체별 속성 입력 프로그램을 그림 6-11과 같이 구성하였다.

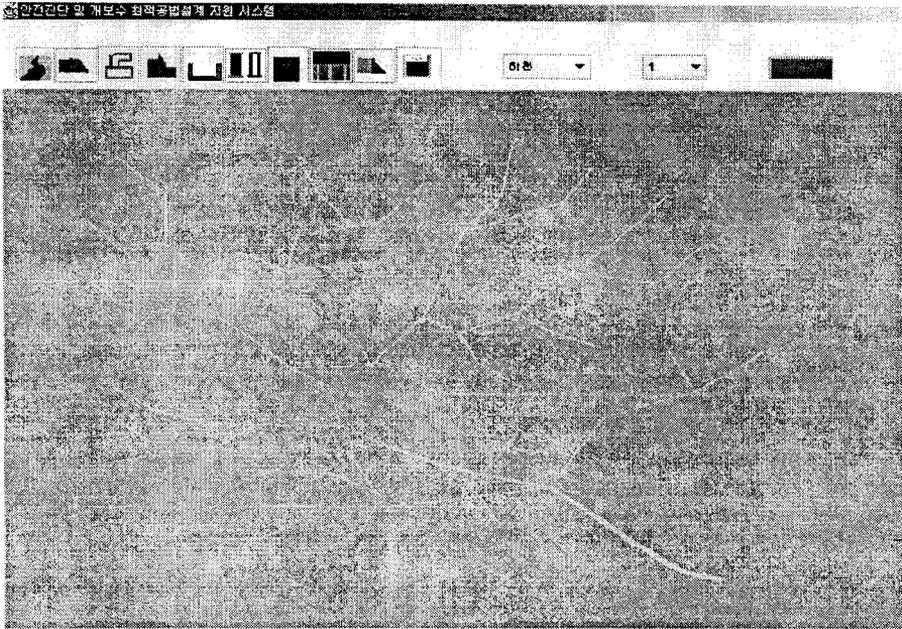


그림 6-11 조사자료 객체 속성입력 프로그램 예

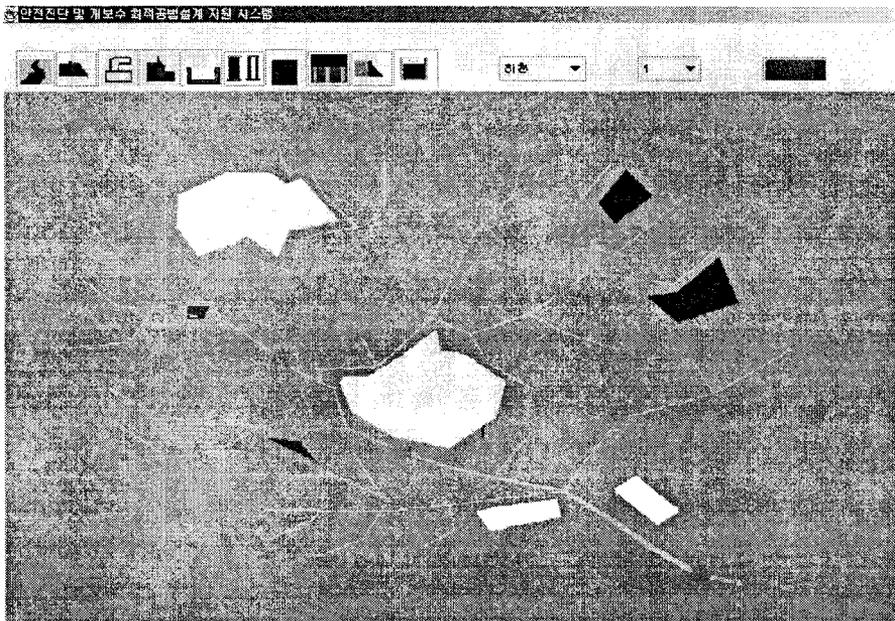


그림 6-12 시설물 조사자료입력 및 검색 메뉴.

## 라. 보수보강 공법 데이터베이스

### 1) 데이터베이스 설계

본 절에서는 시설물의 점검에 의한 안전도 평가등급이 계산되었을 경우 부위별, 노후 원인별로 가정 적합한 보강공법의 등록과 공법 시방서의 관리를 위하여 설계되었다. 공법별 정보에 대한 자료들을 표준화된 분석과정을 통하여 자료구조를 확정하고 자료관리에 대한 용이성을 확보할 수 있는 데이터베이스 관리 시스템을 선정하고, 이에 대한 시험운명을 통하여 데이터베이스의 효용성을 보이고자 한다.

#### 가) 데이터베이스 모델

1970년대의 데이터베이스 시스템은 사무처리와 같은 한정된 업무영역에서만 이용되어온 시스템이었다. 그런데 1980년대 들어와서는 다양한 금융업무, 마케팅, 기술정보자문, 의사결정지원 시스템 등에서도 그 사용범위가 확대되어 현재에 와서는 거의 모든 정보화 사업에는 필수적인 개발도구가 되기에 이르렀다. 초기에 발전된 데이터베이스 시스템은 그 시스템의 기초가 되는 자료구조에 따라서 분류될 수 있다. 먼저, 계층형 데이터베이스 시스템에서는 실사회 구조가 계층적 표현으로 이루어지고 있는 것을 모델로 하였으며, 망모형은 CODASYL, DBTG 모형이라고도 하는데, 이 모형의 특징은 확실적인 계층망에 데이터의 논리적 구조를 표현한 모형이라고 할 수 있다.

1980년대 이후부터 이 두 모형에 비해서 늦게 나타난 관계형 모델이 대표적인 데이터베이스 시스템의 대부분을 이루고 있다. 유사한 개념의 집합 지향적 모형이 Codd에 의해 개발된 관계형 모델은 자료간의 연산규칙이 수학적으로 지원되기 때문에 고도의 데이터 독립성과, 데이터 의미와 일관성을 유지하는 기능, 집합 지향적 조작방법의 지원, 복잡한 데이터의 기술이 가능해졌으며, 이러한 장점으로 인하여 최근의 상용화된 데이터베이스 시스템의 대부분이 관계형 데이터베이스 시스템을 이용하고 있다. 이와 같은 관계형 데이터베이스 시스템의 설계 및 운영은 동시에 많은 사용자가 접근 가능하여야 한다. 대개의 경우 획득된 자료를 집적할 중앙 시스템과 관리자가 있으며, 자료의 중앙 관리와 사용자 시스템 환경에 관한 Client/Server 모델을 기본형태로 채택하여 정보망을 구성한다.

## 나) 데이터베이스 클라이언트/서버 모델

### ● 데이터베이스 클라이언트/서버 모델

클라이언트/서버 시스템은 두 개의 독립적인 시스템을 연결하는데, 서버는 먼저 여러 가지 기능을 준비하고 클라이언트의 요청을 기다려야 하고, 클라이언트는 서버에 필요한 서비스를 요청하는 시스템 형태로 구성된다. 클라이언트는 사용자 인터페이스, 간단한 처리를 통해 사용자의 요구를 서버가 알 수 있는 형태로 변환, 서버의 결과를 사용자가 이해하기 쉬운 형태로 변환, 그리고 서버와의 통신 등과 같은 세부 기능을 가진다. 서버의 세부 기능으로 데이터 보안, 프라이버시 보호, 자료 보호, 그리고 데이터 관리 등을 가진다.

클라이언트와 서버 중 중요한 부분은 서버에서 수행하는 것이므로 서버의 모델을 보면 다음 몇 가지로 분류할 수 있다.

- ① 비연결(connectionless)형 : 신뢰성은 없지만 단순한 서비스 제공 방식이다.
- ② 연결(connection)형 : 신뢰할 수 있는 서비스를 제공하며, 서버는 통신 이외의 기능에 충실할 수 있다.
- ③ 대화(interactive)형 : 하나의 프로세스가 모든 클라이언트의 요청을 처리하여 서버에 부담이 가중되는 반면에 만들기는 쉽다.
- ④ 집중(stateful)형 : 클라이언트의 상태를 서버에서 관리하는 중앙 집중으로 서버에 부담이 가지만 클라이언트는 구조가 단순하게 된다.
- ⑤ 분산(statefulness)형 : 필요한 모든 정보는 클라이언트가 관리하고 서버는 단순한 작업만 수행함으로써 신뢰성이 향상되고, 서버의 부담이 줄어든다.

### ● 클라이언트/서버의 장단점

맹목적으로 클라이언트/서버 시스템을 선정할 수는 없다. 여기에는 장점도 많이 있지만 단점도 있다는 점을 감안해야 한다. 클라이언트/서버 시스템의 장단점을 표 6-3과 표 6-4와 같은 관점으로 나누어 볼 수 있다.

표 6-4 시스템 관점에서의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변화에 빨리 대응할 수 있다.</li> <li>• 사용자가 쓰기에 편리하다.</li> <li>• 개인 및 팀 단위의 정보를 자산화 할 수 있다.</li> <li>• GUI가 적극 활용된다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대량의 데이터 관리에 부적절하다.</li> <li>• 시스템이 복잡해진다.</li> <li>• 소프트웨어가 부족하다.</li> <li>• 보안이 어렵다.</li> <li>• 기술표준이 이루어지지 않았다.</li> </ul>

표 6-5 기술적 관점에서의 장단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경에 적절한 응용 프로그램이 작성된다.</li> <li>• 트랜잭션이 분산된다.</li> <li>• 다수의 데이터베이스 접근 환경이 된다.</li> <li>• 사용이 쉽다.</li> <li>• 표준 환경이 사용된다.</li> <li>• 이식성, 유용성이 높아진다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오류의 발견 및 수정 작업이 분산된다.</li> <li>• 한 가지 일에 여러 가지의 프로그램이 필요하다.</li> <li>• 다양한 하드웨어, 소프트웨어로서 관리의 어려움이 있다.</li> <li>• 분산된 장비의 관리로 관리 작업이 어려워진다.</li> </ul>

● 중앙 집중 방식과의 비교

중앙 집중 방식과 분산 처리 방식의 장단점은 그간 많이 언급되어 온 사실이다. 중앙 집중 방식은 데이터의 신뢰도, 보안, 백업이 우수한 반면, 분산 처리 방식의 특수 형태인 클라이언트/서버 방식은 데이터의 분산 및 지원 소프트웨어 부족으로 인해 유지 보수가 어렵다. 중앙 집중 방식에서는 본사에 대형 컴퓨터 한 대를 설치하여 본사는 물론, 지점, 공장, 현장이 여기에 연결된 터미널을 이용하는 형태이다. 클라이언트/서버 방식에서는 본사, 지점, 공장, 현장이 각각 서버를 설치하여 독자적 처리 형태를 구성하고 있다. 중앙 집중식은 한 곳에서 모든 일을 처리하므로 폭주 현상이 발생할 수도 있고, 주컴퓨터에 문제가 발생하면 전체 시스템에 문제가 발생하게 된다. 클라이언트/서버 방식에서도 서버에 문제가 발생하면 그 서버에 연결되어 있는 전체 시스템에 영향을 주게 되므로 서버의 분산 관리, 백업 서버

등으로 보완 설치를 해두면 하나의 시스템에 문제가 발생해도 기능상의 작동에는 문제가 없게 된다.

### ● 일반적 구축 형태

일반적으로 클라이언트/서버를 적용하면 여러 가지 문제점들이 모두 해결되리라고 생각해서는 안 된다. 클라이언트의 서버 시스템의 일반적 형태처럼 입력의 성격에 따라서 집중해야 할 것은 대형 컴퓨터에서 처리하고, 분산시켜야 할 것은 네트워크로 구성해서 클라이언트/서버 시스템 형태로 처리해야 한다. 본사에는 대형 컴퓨터를 호스트로 하여 전역 데이터베이스를 구축하여, 지방이나 서울의 타 지역에 있는 지점에서는 독자적으로 서버를 설치하여 지역 데이터베이스를 구축한다. 이들은 서로 네트워크로 연결되어 서비스를 공유하게 된다.

### ● 클라이언트/서버의 기법

클라이언트/서버 모델을 도입하여 분산 처리 기법을 구현하는 데에는 두 가지의 문제점이 있을 수 있다. 첫 번째로 분산 처리 기법은 기존의 절차적 프로그램에 비하여 그 개발 과정이 복잡하고 개발된 프로그램을 실제의 여러 문제에 적용하려면 프로그램의 수정이 계속하여 이루어져야 한다. 두 번째로 실제 주변에서 이용 가능한 범용 컴퓨터는 종류가 여러가지이며 비록 네트워크로 서로 연결되어 있다고는 하지만 독립적인 작업을 수행하며 그 양과 시간을 예측할 수 없으므로 분산 처리 시스템에서 기대한 만큼의 성능을 항상 얻을 수 있는 것은 아니다. 이를 해결하기 위해서는 복잡한 개념을 추상화 할 수 있고 프로그램 소스의 직접적인 수정 없이 프로그램의 수정 및 추가의 효과를 얻을 수 있는 객체지향 기법을 적용하여야 실용 가능한 해석 시스템을 구현할 수 있을 것이다.

### ● 객체 지향 분산 처리 시스템

분산 처리 시스템에서 각 프로세서는 물리적으로 분리되어 있고 근거리 통신망(Local Area Network, LAN)으로 연결되어 있다. 따라서 분산 처리 시스템을 구성하기 위해서 프로그래머는 자료의 참조를 위하여 다음 두 가지 계층의 동작을 처리해야 한다.

- 프로세서 자신의 고유한 기억 공간 참조
- 네트워크를 통한 원격 기억 공간의 자료 참조

또한 이들 동작을 각각의 프로세서가 동시에 수행하기 위해서는 병렬 처리에 관한 동작을 고려하여야 한다. 프로그래머가 이들을 모두 고려하여 실제 문제를 해결하기 위한 시스템을 구성하는 것은 쉬운 일이 아니다. 이러한 어려움을 해결하기 위하여 네트워크상의 통신과 병렬 처리에 관한 부분을 프로그래머가 직접 구현하지 않고도 프로그래머가 원하는 시스템에 적합한 방식으로 제공하기 위한 노력이 계속되어 왔다.

그 결과로 분산 처리를 구성하는 개개 작업간의 상호 작용과 복잡한 동기화 문제를 프로세서와 무관하게 처리할 수 있는 추상화된 객체를 제공하는 객체 지향 분산 처리 언어가 개발되게 되었다. 그러나, 현재까지 개발된 대부분의 객체 지향 분산 처리 언어는 특정한 분야의 프로그램 개발을 위해 만들어져 범용적인 언어로 널리 쓰이지 못하였다.

#### 다) 데이터베이스 관리 언어(SQL)

##### ● SQL (Structured Query Language)

SQL은 IBM 연구소에서 개발된 후로 ANSI에서 표준화하여 데이터베이스의 자료구조 정의, 자료검색, 입력, 수정, 삭제 등의 관리작업을 사용자가 쉽게 할 수 있도록 하였다. SQL의 기능은 질의 구문의 해석과, 데이터베이스 시스템이 해석할 수 있도록 구분을 사전 컴파일하는 기능, 대화식으로 사용자와 데이터베이스 시스템을 연결해준다. SQL에서 제공하는 Object로는 컬렉션, 테이블, 행과, 열, 가상표, 색인, 목록, 데이터사전 등으로 이루어진다.

- ① 컬렉션: 라이브러리, 저널, 저널리시버, 목록 및 자료사전 등으로 구성된다. 사용자는 다수의 컬렉션을 작성하거나 소유권한을 행사하면서 시스템의 운영을 한다.
- ② 데이터사전 : 데이터사전에는 여러 Objects의 정의가 들어있는 테이블을 말한다. 컬렉션이 만들어지면, 자동적으로 데이터 사전을 만들도록 하며, 항상 SQL 시스템이 이를 유지 보수하도록 한다.
- ③ 저널 및 저널 리시버 : 데이터베이스내의 테이블이나 테이블의 가상표에 대한 변

경사항을 기록하며, TRANSACTION단위로 운영된다.

- ④ 테이블의 행 및 열 : 2차원의 행과 열로 구성된 테이블에서 열(Column)은 동일한 정의를 갖는 수학적으로 정의되며, 테이블의 한 레코드단위로 유일한 성질이 부여될 수 있도록 관리되어야 한다. 이를 위해서 테이블은 단수 또는 복수 개의 항목으로 구성된 Primary key와 Foreign key를 갖는다.
- ⑤ 색인 : 테이블의 열에 대한 컬렉션을 정의한다. 오름차순 또는 내림차순으로 저장된 자료를 빠르게 검색하기 위해 이용된다. 이 색인은 모든 항목에 부여하는 것은 아니며 필수적인 Key 등에 부여되는 것이 원칙이다. 많을수록 데이터베이스의 변경 등에 많은 부하를 주므로 오히려 시스템 수행성능효율을 저해할 수도 있다.
- ⑥ 목록 : 파일과 사전 사이의 관계 또는 파일 사이의 관계에서 상호 참조 정보가 들어있는 데이터베이스 파일, 또한 오브젝트의 정의가 들어있는 컬렉션 내의 데이터사전 세트로서 일련의 가상표와 논리적 파일로 구성된다. 보통 목록 가상표는 기본적으로,

SYSCOLUMNS : SQL컬렉션에 있는 각 테이블과 가상표의 열마다 한 행씩 들어 있다.

SYSTABLES : Tables의 정보가 한 행씩 있다.

SYSINDEXS : SQL 목록에 대한 색인을 포함한다. 매 색인마다 한 행씩 저장되어 있다.

SYSKEYS : 하나의 색인 열마다 한 행씩 들어있다.

SYSVIEWS : 각 가상표에 대해서 한 행 이상의 행이 들어있다. 각 행에는 가상표를 작성한 CREATE VIEW문이 저장된다.

SYSVIEWDEP : 테이블에 대한 가상표의 종속관계를 저장한다.

이외에도 테이블에 대한 사용자 권한이나 시스템에 대한 사용자 권한 등을 관리하도록 하고 있다.

### ● SQL 사용과 정보운영

SQL문장을 이용하여 데이터베이스 내에 사용자 영역의 컬렉션을 정의하고, 테이블의 정의, 정보얻기, 복합 테이블로부터의 정보 얻기, 정보변경, 정보삭제, 가상표

의 작성 및 사용, 색인화 작업, 목록정보 활용하기 등을 할 수 있다.

가장 기본적인 SQL문은 SELECT 문과 INSERT, UPDATE, DELETE, SELECT, INTO, WHERE 절이 있으며, 자료의 그룹핑을 위한 GROUP BY, HAVING 절, ORDER BY 절, 단일 검색문의 연결을 수평적으로 하기 위한 UNION, NESTED-SELECT문 등으로 구성되어 있다. 대표적 예로서 두 개 이상의 테이블에서 자료보기 SQL 문을 작성해보면 다음과 같다.

```
SELECT (UNIQUE) Table1.*, Table2.*

FROM Table1, Table2 or (Table1 outer Table2)

WHERE

    Table1.PKey = Table2.FKey
```

## 2) 보수·보강 공법 데이터베이스 시스템 설계

### 가) 데이터베이스 설계결과

데이터 베이스를 개발하기 위하여 데이터베이스 모델, 클라이언트/서버 모델 등을 검토하였다. 검토결과를 요약하면 표6-6과 같다.

표 6-6 데이터베이스 시스템 설계 결과

항 목	선 정	비 고
데이터베이스 모형	관계형	
클라이언트/서버 모델	집중형	

본 연구에서 제시한 안전진단 및 개보수 지원 시스템에서 사용할 데이터베이스 구조는 다음과 같다. 자료구조 테이블은 2차년도 진도보고서에서 제시한 바 있으며, 구조물 지속적인 시설물관리 정보와 안전진단자료의 구축 및 관리를 위한 자료구조 및 운영관계를 나타내는 ERD는 다음 그림6-13과 같다.



먼저 농업구조물의 보수, 보강 공법의 선정과정에서 사용자가 손쉽게 접근이 가능한 서버에 공법관리 데이터베이스를 배치, 운영한다. 이 데이터베이스를 이용하여 자동 생성되는 Home 페이지의 기본형은 그림 6-14와 같다.

구조물의 종류를 대분류로 하고, 재료별 노후화 형식을 중분류로 한다. 각 노후도의 종류에 따라서 적합한 공법의 분류를 소분류로 하여 좌측 프레임의 트리 구조를 구성하였다. 시방성에 해당하는 우측 프레임의 내용은 향후 다음 그림과 같은 윈도우 Help와 같은 식의 색인 기능을 이용하여 찾아 볼 수 있도록 할 계획이다. 이 결과는 공법코드 또는 공법의 이름과 주요 색인어를 이용하여 HTML 문서에 HyperLink를 삽입하여 편리한 사용자 지원 시스템을 구성할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 구조물의 세부 부위별로 진단항목과 보강공법의 관계는 데이터베이스의 등록을 통하여 출력된 결과물을 이용하여 자동으로 제작될 수 있기 때문에 공법관리 시스템 메뉴에서 공법과 적용목적간의 상호 관계를 관리하여야 한다. 구조물별로 재료와 공법간의 Tree 구조 일부를 보면 다음과 같다.

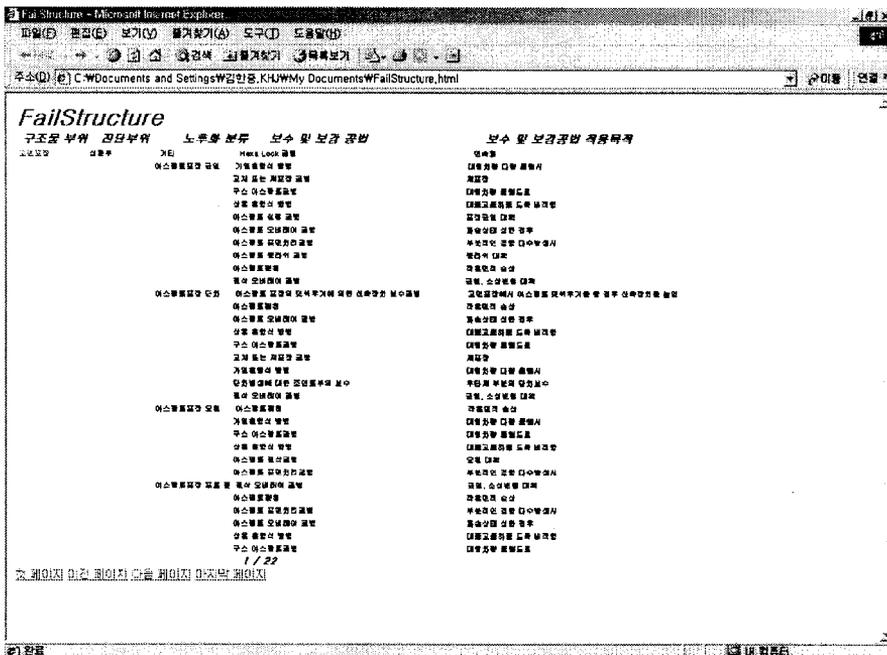


그림 6-14 구조물별 재료-공법간 Tree 구조

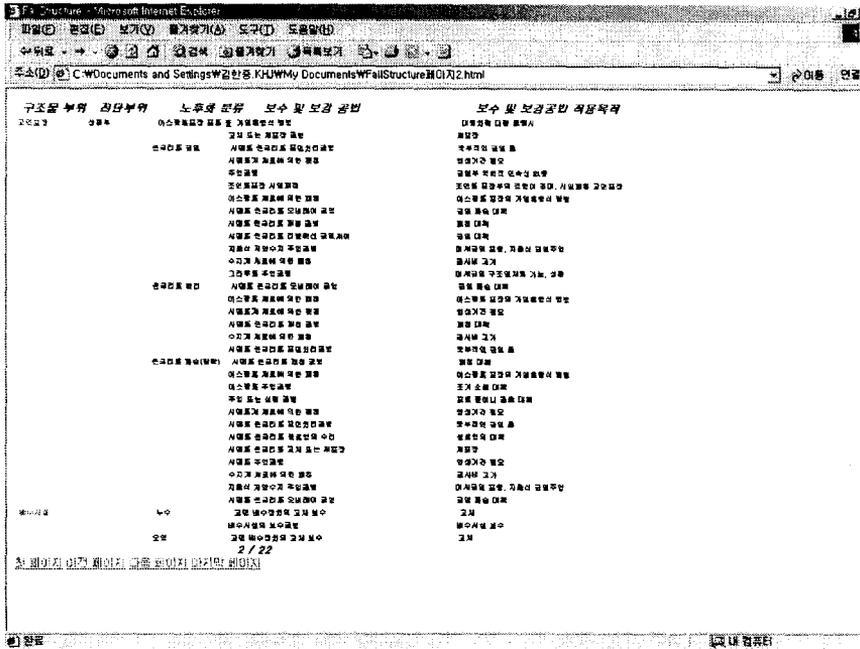


그림 6-14 Continued

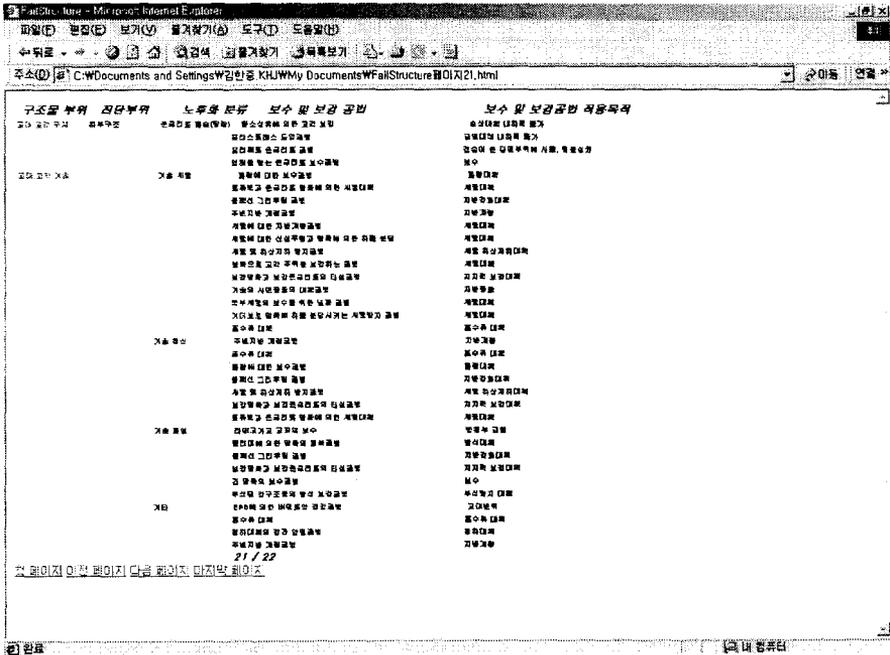


그림 6-14 Continued

### 3. System 적용 예(교량 구조물의 진단)

#### 가. 점검자료의 입력

아래의 그림은 충남의 대상지구에 대한 시/군 관리 교량에 대하여 점검자료의 입력 화면이다. 입력절차는 다음과 같다.

화면에서 세부 윈도우 별로 시설물이 속한 지구정보의 입력

지구의 시설물에 대한 점검계획서 입력 : 시설물별로 점검코드(Str-Check)를 작성

시설물의 세부 부위별로 점검항목을 선택하여 조사표 입력 : 조사표는 현장에서 스케치한 내용과 노후원인을 대조하면서 노후코드(DefectID)를 선택하면서 면적비율을 입력한다.

The screenshot shows a software application window titled '안전진단 및 개보수 점검관리체계 지원 시스템'. The main form contains the following fields:

- SiteCode: CN01
- SiteInstallDate: 1960/6/6
- SiteMemo: 노후교량의 조사
- SiteName: 홍남예당
- SiteManager: 군수
- SiteLocatio: 홍남 예당 우덕

Below the form is a table for 'Structure\_Man':

STR_ID	str_man_type	str_type	str_name	str_cc	distr_d	distr_sg	distr_my	distr	man_nm	man_h	m_date	str_stat
CN01	2중	16	예장교	cn0101	충남	예산	예산	예장	군수	군	1960-06-05	알호

Below this is a table for 'Structure\_Check':

str_check	str_code	check_type	check_date	check_report	check_code	code_view
cn1	cn0101	정기	1999-12-03			

At the bottom is the 'Structure\_Check\_Result' table:

str_check	str_code	Str_Comp_Check	str_che	FailStruct	DefectID	check_count	check_un	cnt_A	cnt_B	cnt_C	cnt_D	cnt_E
cn1	cn0101		011		501	1	면적비율	94	0	6	0	0
cn1	cn0101		011		502	1		93	4	3	0	0
cn1	cn0101		011		504	1		96	0	0	0	4
cn1	cn0101		02		104	1		0	95	5	0	0
cn1	cn0101		02		601	1		0	85	15	0	0
cn1	cn0101		03		101	1		0	65	35	0	0

#### 나. 점검자료의 세부 부위별 평가 점수 작성

세부 시설물의 점검 점수는 검사항목(DefectID)에 입력된 점수만을 대상으로 하고 있다.

이 결과를 바탕으로 다음 단계에서는 시설물의 전체 등급을 산정하기 위하여 구조물의 중요도를 평가하였다.

SiteCode	CN01	SiteInstallDate	1960/6/5	SiteMemo	노후교량의 조사
SiteName	홍남여당	SiteManager	군수		
SiteLocation	홍남 예산 우덕				

Site	str_man_type	str_type	str_name	str_co	distr_d	distr_sg	distr_my	distr	man_r	man_t	m_date	str_stat
▶ CN01	2층	16	예장교	cn0101	홍남	예산	예산	예장	군수	군	1960-06-05	양호
* CN01												

현재 레코드: 14 | < | > | >> | <<< | 전체: 1

str_check	str_code	check_type	check_date	check_report	check_code	code_view
▶ cn1	cn0101	정기	1999-12-03			
* cn0101						

Site_Code	str_check	str_name	str_code	SubStructureName	
▶ CN01	cn1	예장교	cn0101	상판부	
StructureName	DefectName	FailStructureCode			
교면포장(아스팔트)	아스팔트포장 단차	011			
DefectID	check_count	check_unit			
501		1면적비율			
Expr1	Expr2	Expr3	Expr4	Expr5	합계
18.6	0	0.6	0	0	19.4

SiteCode	CN01	SiteInstallDate	1960/6/5	SiteMemo	노후교량의 조사
SiteName	홍남여당	SiteManager	군수		
SiteLocation	홍남 예산 우덕				

Site	str_man_type	str_type	str_name	str_co	distr_d	distr_sg	distr_my	distr	man_r	man_t	m_date	str_stat
▶ CN01	2층	16	예장교	cn0101	홍남	예산	예산	예장	군수	군	1960-06-05	양호
* CN01												

현재 레코드: 14 | < | > | >> | <<< | 전체: 1

str_check	str_code	check_type	check_date	check_report	check_code	code_view
▶ cn1	cn0101	정기	1999-12-03			
* cn0101						

Site_Code	str_check	str_name	str_code	SubStructureName	
▶ CN01	cn1	예장교	cn0101	상판부	
StructureName	DefectName	FailStructureCode			
교면포장(아스팔트)	아스팔트포장 포트 홀	011			
DefectID	check_count	check_unit			
504					
Expr1	Expr2	Expr3	Expr4	Expr5	합계
19.2	0	0	0	0.04	19.24



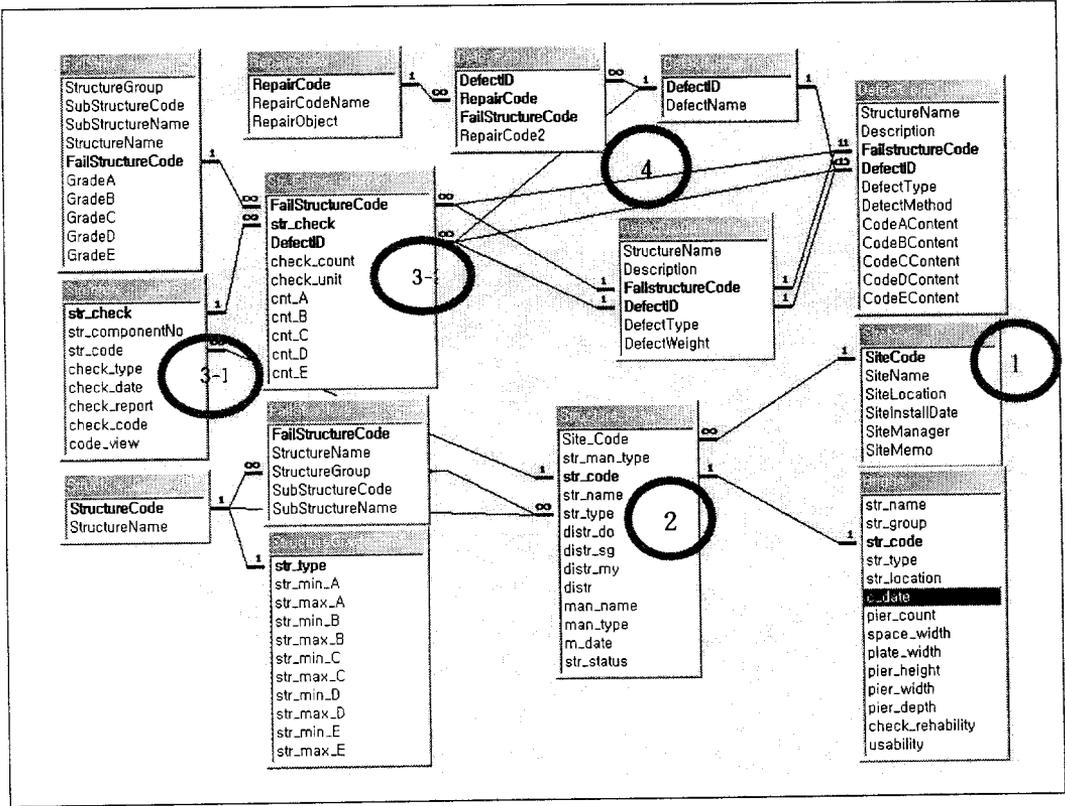


그림 6-16 각 단계별로 적용되는 테이블과 관계도

위의 작업단계에서 5-8단계는 사용자 지원 시스템에서 이루어지므로 Interactive 하게 진행된다. 각 단계별로 진단 및 평가자료의 등급화를 위하여 주요 단계에서 사용된 SQL 프로그램은 다음과 같다.

Step 1)의 조사결과를 각 노후원인별 가중치를 이용하여 구조물의 부위별로 결과를 작성하는 프로그램 UnitComponent.sql은 다음과 같다.

```

SELECT
    [Structure_Man].[Site_Code],
    [Structure_CheckResult].[str_check],
    [Structure_Man].[str_name],

```

```

[Structure_CheckResult].[str_code],
[FailStructure].[SubStructureCode],
[FailStructure].[SubStructureName],
[FailStructure].[StructureName],
[DefectName].[DefectName],
[Str_Comp_Check].[FailStructureCode],
[Str_Comp_Check].[DefectID],
[Str_Comp_Check].[check_count],
[Str_Comp_Check].[check_unit],
[Str_Comp_Check].[cnt_A]*[DefectWeight]/100 AS GA,
[Str_Comp_Check].[cnt_B]*[DefectWeight]/100 AS GB,
[Str_Comp_Check].[cnt_C]*[DefectWeight]/100 AS GC,
[Str_Comp_Check].[cnt_D]*[DefectWeight]/100 AS GD,
[Str_Comp_Check].[cnt_E]*[DefectWeight]/100 AS GE, (
GA+GB+GC+GD+GE) AS TOT, [DefectCodeWeight].[DefectWeight]
FROM Structure_Man, Structure_CheckResult, DefectName,
Str_Comp_Check, FailStructure, DefectCodeWeight
WHERE ((([Structure_CheckResult].[str_check])=[Str_Comp_Check].[str_check])
And (([Str_Comp_Check].[DefectID])=[DefectName].[DefectID])
And (([Str_Comp_Check].[DefectID])=[DefectCodeWeight].[DefectID])
And (([Str_Comp_Check].[FailStructureCode])=[DefectCodeWeight].[FailStructureCode])
And (([FailStructure].[FailStructureCode])=[Str_Comp_Check].[FailStructureCode])
And (([DefectCodeWeight].[FailStructureCode])=[Str_Comp_Check].[FailStructureCode])
And (([Structure_Man].[str_code])=[Structure_CheckResult].[str_code]));

```

이 결과를 Step 2)로 넘겨주기위한 처리는 UnitCompSUM.sql이 구동되며, 이결과로부터 시설물의 부위별 가중치를 이용하여 시설물의 부위별 등급에 해당하는 점수를 구하는 프로그램은 UnitCompGrade.sql이다

다음은 UnitCompGrade.sql 이다

```

SELECT
[UnitCompSUM].[Site_Code], [UnitCompSUM].[str_check],
[UnitCompSUM].[str_name], [UnitCompSUM].[str_code],

```

```

[UnitCompSUM].[SubStructureCode],      [UnitCompSUM].[SubStructureName],
[UnitCompSUM].[StructureName],         [UnitCompSUM].[FailStructureCode],
      ([GGA]*[GradeA])/100 AS SA,      ([GGB]*[GradeB])/100 AS SB,
      ([GGC]*[GradeC])/100 AS SC,      ([GGD]*[GradeD])/100 AS SD,
      ([GGE]*[GradeE])/100 AS SE,      (SA+SB+SC+SD+SE) AS SSTOT
FROM   UnitCompSUM, FailStructureGradeWeight
WHERE  [UnitCompSUM].[FailstructureCode]=[FailStructureGradeWeight].[FailStructureCode];

```

각 구조부위별 점수를 구조부위별 중요도에 따라서 구조물의 등급점수는 UnitCompGradeSum.sql과 StructGrade.sql 로부터 계산된다.

다음의 StructGrade.sql은 이미 계산된 결과를 구조물의 중요도별로 가중평균치를 구하는 과정이다.

```

SELECT
      [Site_Code], [str_check], [str_name], [str_code],
      sum([SubStructSum]*[WeightValue]/100) AS FinalValue
FROM   UnitCompGradeSUM, SubStructureWeight
WHERE  [UnitCompGradeSUM].[SubstructureCode]=[SubStructureWeight].[SubStructureCode]
GROUP BY [Site_Code], [str_check], [str_name], [str_code];

```

최종적으로 이상의 결과를 순차적으로 수행하는 화면 프로그램은 다음과 같다.

Site_Code	str_check	str_name	str_code	SubStructureCode		
CN01	cn1	예장교	cn0101	16-30		
SubStructureName	StructureName	DefectName				
하부구조	교대	콘크리트 파손(탈락)				
FailStructureCode	DefectID	check_count	check_unit			
16	104	1				
GA	GB	GC	GD	GE	TOT	DefectWeight
0	2	6	2	0	10	10

Site_Code	str_check	str_name	str_code	SubStructureCode	
CN01	cn1	예장교	cn0101	16-10	
SubStructureName	StructureName	FailStructureCode			
상판부	교면포장(아스팔트)	011			
SA	SB	SC	SD	SE	SSTOT
17.99	0.15	0.225	0	0.018	18.383

Site_Code	str_check	str_name	str_code	FinalValue
CN01	cn1	예장교	cn0101	56.2245

여기에서 예를 든 교량은 등급점수 56.2로써 현재 모든 부위의 노후도를 조사하지 않은 상태에서 C등급에 해당한다. 이상의 분석 결과는 사용자 지원프로그램을 통하여 Step 2에서 부여받은 점검코드 "cn1"을 이용하여 "Structure\_CheckResult" 테이블에 입력한다.

이 결과는 시설물 정보를 입력하고 점검을 시작한 초기화면으로부터 다음 그림과 같이 계산 결과가 반영되어 완성된다.

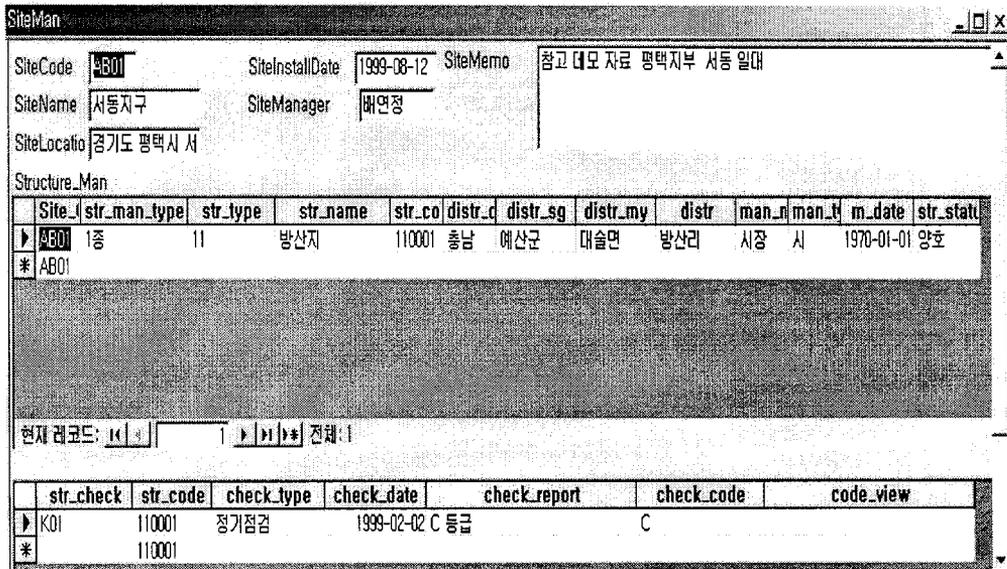


그림 6-17 최종 평가결과

다. 보수 및 보강공법의 시방서 검색

#### 1) 웹과 자바 Scripts 프로그램 방식

시설물의 세부 항목별로 재료와 노후도의 원인을 기준으로 시방서를 찾기 쉽도록 출력한 결과는 다음 그림과 같이 웹 환경에서 쉽게 검색이 가능하다. 이 결과는 데이터베이스와 상호 연동관계에 있기 때문에 새로운 공법의 추가만으로 시스템의 사용자 환경을 별도로 수정하지 않고서도 다중 사용자에게 쉽게 지원될 수 있다. 기본 구성은 현재 3단계의 HTML과 세부구성은 자바Scripts를 이용하고 있다.

관리자는 공법의 신규입력이 발생하면 MainForm.html 내부의 자바Scripts 구성 내용 중에서 필요한 Text 보고서를 공법 데이터베이스로부터 출력한다. 이 결과

를 간편한 편집기만을 이용하여 간단히 수정할 수 있다.

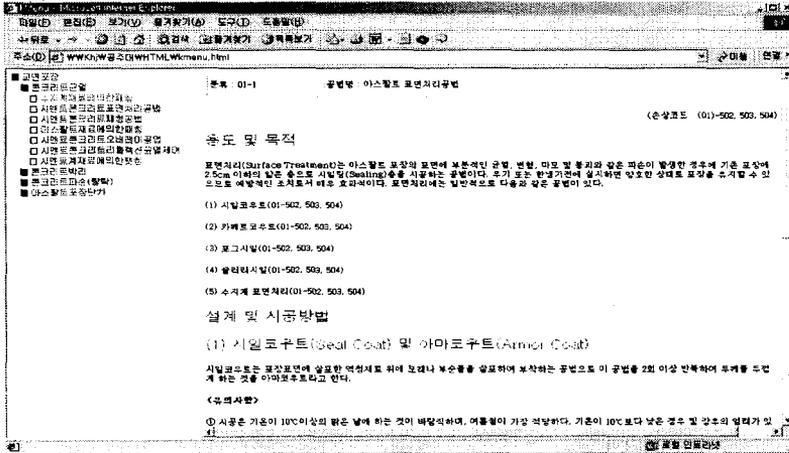


그림 6-18 공법선정을 위한 Home page (Web Browser 방식)

## 2) Win-HELP 방식

본 연구에서는 웹 브라우저를 사용하기 어려운 사용자 또는 직접 공법이름을 사용하여 검색하고자 하는 사용자를 지원하기 위하여 각 공법과 세부 내용 중에서 필요한 색인어들을 이용하여 다음과 같은 HELP 형태로 설계하여 색인화된 자료나 공법명 등을 찾을 수 있도록 하였다.

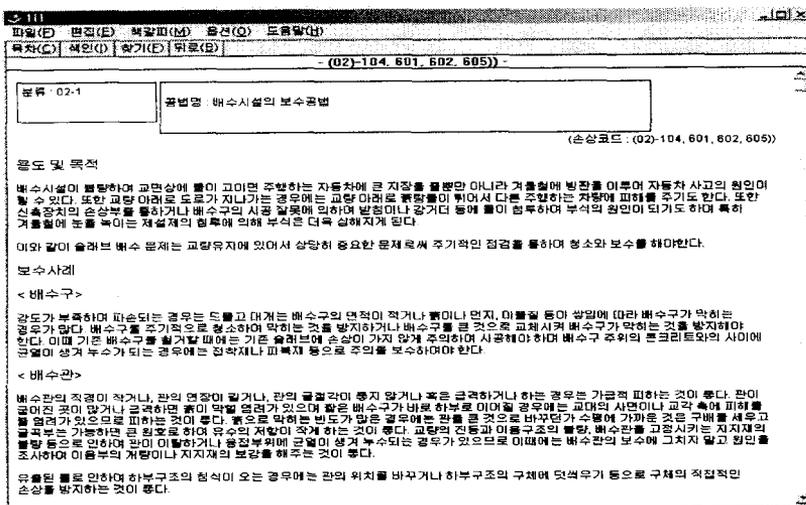


그림 6-19 선정된 공법의 시방서 내용 검색 (Window Help Menu 방식)

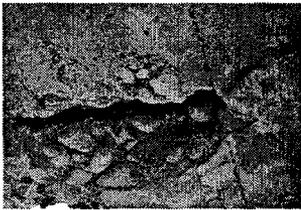
## 제2절 현장적용 및 시험시공

### 1. System 현장 적용

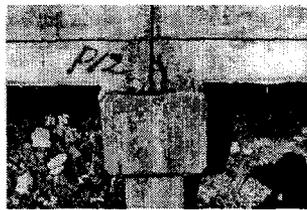
제 4장과 5장에서 개발된 System을 열화가 진행된 농업 수리 구조물에 적용하여 System의 적정성을 판별하고 전문가 System의 신뢰성을 증진시키고자 하였다.

#### 가. 대상구조물 현황조사

시스템을 적용할 대상 구조물로 5장에서 조사한 농로교, 수로교, 배수로를 선정하였다. 수로교와 배수로는 손상 및 열화가 상당히 진행된 구조물이었고, 농로교는 열화상태가 심각하지는 않았으나, 교량의 폭을 확대하는것이 필요한 구조물이었다. 각 선정된 구조물의 대표적인 열화상태는 그림 6-20에 나타나 있고, 보다 상세한 열화 현상은 부록Ⅲ에 제시되어 있다. 각 구조물의 사용연한은 17~20년 정도였다.



a. 농로교 철근 노출



b. 수로교 신축이음부 누수



c. 배수로 골재 탈락

그림 6-20 대상 농업구조물 열화현상

#### 나. System 적용과 Output

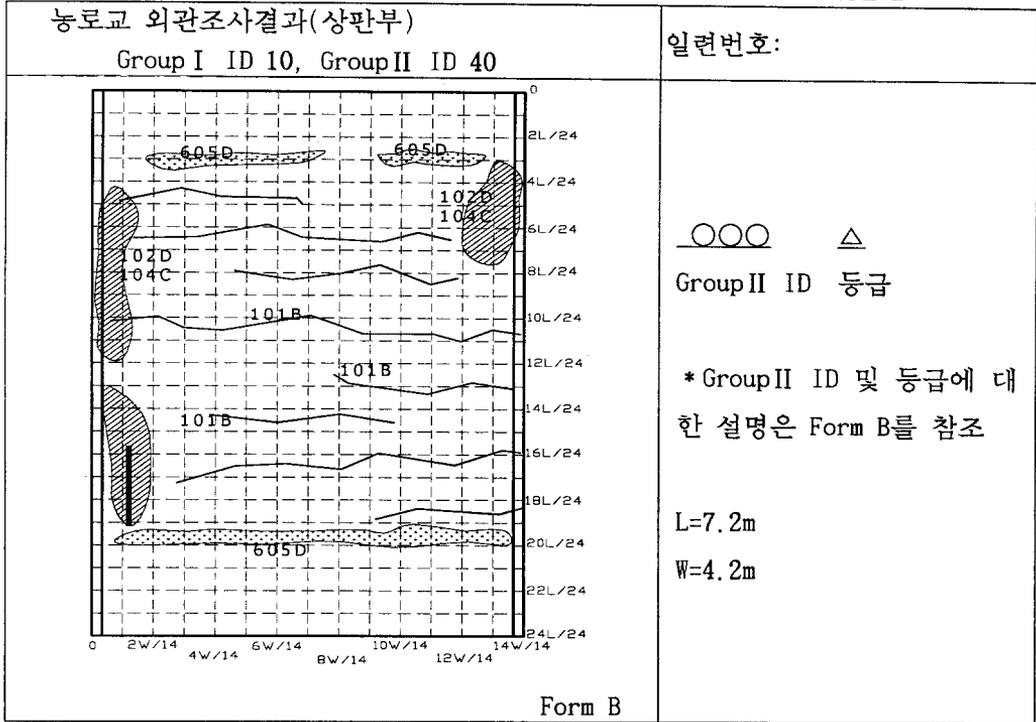
조사 및 평가 방법으로는 부록Ⅲ과 같이 조사된 열화 현황도에 근거하여 시스템에 입력하고, 제4장에서 설명한 평가방법이 적용되었으며, 그 결과는 다음 그림들에 나타나 있다. 농로교에 대한 시스템 적용 결과는 그림 6-21에서 6-23까지에 나타나 있는데, 그림 6-21은 현황도에 근거한 입력자료이고, 그림 6-22에는 조사된 열화상태가 정량적으로 구조부위별로 나타나 있다. 그림 6-22에는 판정된 결과가 나타나 있는데, 상부구조 전체 등급은 C급이었고, 하부구조 전체 등급은 B급이어서 농로교 전체 등급이 B급으로 나타났다. 상부구조의 열화상태별 등급을 살펴보면 철근노출과 누수의 등급이 D급으로 나타나, 보수공법을 시행하여야 하였고, 공법은

단면보수공법(패칭)이 선정되었다.

수로교에 대한 시스템 적용 결과는 그림 6-24에서 6-26까지에 나타나 있는데, 그림 6-24는 현황도에 근거한 입력자료이고, 그림 6-25에는 조사된 열화상태가 정량적으로 구조부위별로 나타나 있다. 그리고 그림 6-26에는 판정된 결과가 나타나 있는데, 상부구조 전체 등급은 E급이었고, 하부구조 전체 등급은 E급이어서 수로교 전체 등급이 E급으로 나타났다. 상판부의 열화상태별 등급을 살펴보면 파손과 박리의 등급이 E급이었고, 누수와 백태 그리고 철근노출 등급은 D급이었다. 그리고 신축이음부에서의 누수는 D급으로 나타났다. 수로교 교각의 탈락 현상은 E급으로 판정되었다. 따라서 상판부 슬래브에 대한 보수 공법으로 패칭공법이 선정되었고, 신축이음부에 대해서는 실런트 실링공법이 그리고 슬래브와 측벽의 이어치기 부분의 누수에 대해서는 누수실링 공법이 선정되었다. 교각에 대해서는 코핑부 단면 확대 공법이 선정되었다.

용수개거(배수로)에 대한 시스템 적용 결과는 그림 6-27에서 6-29까지에 나타나 있는데, 그림 6-27는 현황도에 근거한 입력자료이고, 그림 6-28에는 조사된 열화상태가 정량적으로 구조부위별로 나타나 있다. 그리고 그림 6-29에는 판정된 결과가 나타나 있는데, 개수로 라이닝은 열화상태는 파손과 박락이 E와 D급으로 나타나 전체 개수로 라이닝 등급이 E급으로 나타났다. 따라서 보수공법으로 박층 오버레이 공법이 선정되었다.

Form B



Form B

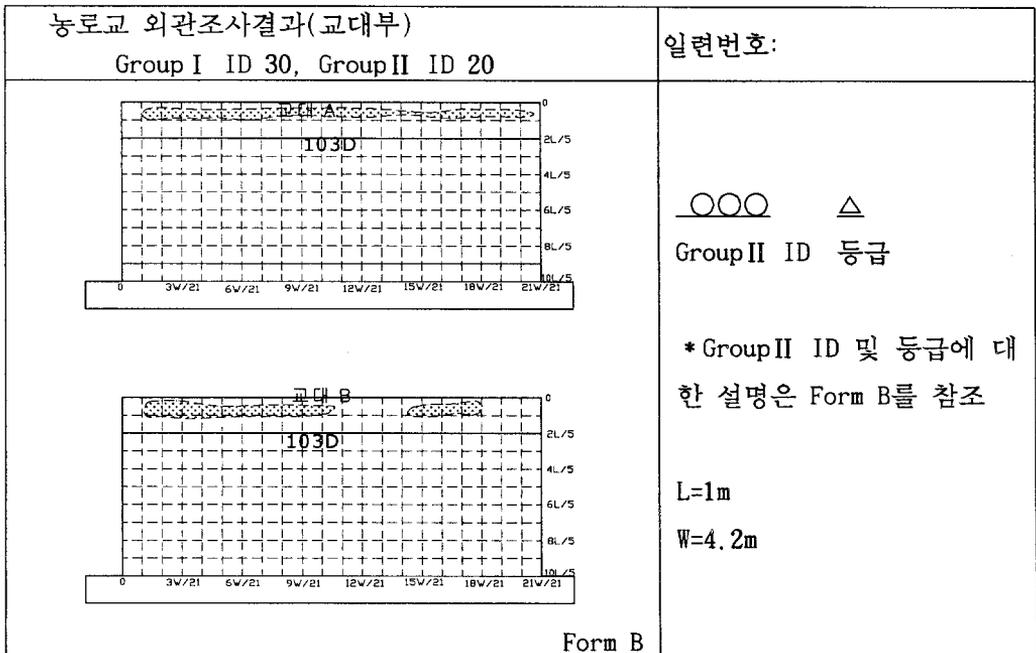


그림 6-21 농로교 상부와 교각의 열회현황 입력

상판부 (Group 1 ID 10)  
 상판(균열 및 탈락) (Group 2 ID 40)

등급	균열(101)				박리(102)		GroupII 등급별 물량
	일방향 균열		이방향 균열		Description	Q'ty	
	Description	Q'ty	Description	Q'ty			
A	없음, 0.1mm 이하 부분적	80%	없음	100	없음	89.6%	
B	0.1~0.2mm 간헐적(30cm 이하)	0	없음	0	없음	0	
C	0.1~0.2mm 길이 50cm이상 (20cm 이하간격)	20%	0.1~0.2mm 부분적	0	없음	0	
D	0.1~0.2mm 길이 50cm이상(20cm이 하간격)	0	0.2~0.3mm 망상균열 형태	0	국부적	9.4%	
E	0.4mm 이상 균열로 발전	0	0.2~0.3mm 망상균열 형태	0	전반적	0	

등급	백태(103)		파손(104)		철근노출(201)		오염(605)		GroupII 등급별 물량
	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	
A	없음, 보수 후 원상회복 상태 포함	100	없음	91.2%	없음	100	없음	93.7%	
B	국부적 발생, 초기상태	0	없음	0	없음	0	없음	0	
C	표면전반에 얇은 백태	0	국부적	8.8%	없음	0	균열사이로 누수	0	
D	균열 주변에 심한 백태	0	국부적	0	부분적, 부식동 반	0	균열주변으로 누수 악화, 콘크리트 표면 부식	6.3%	
E	균열 주변에 심한 백태	0	전반적	0	다수 발생, 부식 심화	0	균열 사이로 녹물이나 니트발생, 부식에 의한 탈락	0	

그림 6-22 농로교 구조부위별 열화종류별 분배율-상부구조

하부구조(Group 1 ID 30)  
교대 (Group 2 ID 20)

등급	균열(101), 박리(102), 백태(103), 파손(104)						Group II 등급별 물량
	교대본체		교대에 날개벽 사이		주형 받침부		
	Description	Q'ty	Description	Q'ty	Description	Q'ty	
A	없음, 0.1mm이하 균열	91.2%	없음	100	없음	100	
B	0.2mm 균열 부분적, 표면부식	0	미세균열	0	없음	0	
C	0.2~0.4mm 종방향 균열 부분적 시공이음부와 단면변화부에 횡방향 균열	0	부분적 균열	0	박리가 부분적 발생	0	
D	0.5mm 종방향 균열, 균열 사이 백태 심함	8.8%	연결부의 분리되어 기울어짐	0	콘크리트 부식 및 탈락	0	
E	0.5mm 이상 균열, 일부 탈락	0	날개벽이 토압에 의해 기울어짐	0	콘크리트 부식 및 탈락	0	

그림 6-22 농로교 구조부위별 열화종류별 분배율-하부구조

System Out Put (농로교)

	Description				Q'ty	Unit	판정	Possible Repair Method	Recom- mend
	부위		손상상태						
	Group I	Group II	손상종류	등급 상태					
10-40-101C	농로교 상부	상판부	균열	C	6	m <sup>2</sup>	관찰	05-1	05-8
10-40-102D	"	상판부	철근노출	D	2.8	m <sup>2</sup>	부분보수	05-2	
10-40-104C	"	상판부	파손	C	2.8	m <sup>2</sup>	관찰	05-8	
10-40-605D	"	상판부	누수	D	1.9	m <sup>2</sup>	부분보수	05-9	

상부구조 전체등급 : C급

30-20-101D	농로교 하부	교대	균열	D	0.36	m <sup>2</sup>	부분보수		
------------	-----------	----	----	---	------	----------------	------	--	--

하부구조 전체등급 : B급

농로교 전체등급 : C급

그림 6-23 농로교 구조부위별 열화 등급과 공법 선정

Form B

<p>수로교 외관조사결과(상판부) Group I ID 10, Group II ID 40 Group II ID 51</p>	<p>일련번호:</p>
<p style="text-align: center;">Form B</p>	<p>○○○    △</p> <p>Group II ID 등급</p> <p>* Group II ID 및 등급에 대한 설명은 Form B를 참조</p> <p>L=9.7m W=3.69m</p>

Form B

<p>수로교 외관조사결과(교각부) Group I ID 30, Group II ID 20</p>	<p>일련번호:</p>
<p style="text-align: center;">Form B</p>	<p>○○○    △</p> <p>Group II ID 등급</p> <p>* Group II ID 및 등급 에 대한 설명은 Form B를 참조</p> <p>L=6m W=4m</p>

그림 6-24 수로교 상판부와 교각부의 열화현황 입력

상판부 (Group 1 ID 10)  
 상판(균열 및 탈락) (Group 2 ID 40)

등급	균열(101)				박리(102)		GroupII 등급별 물량
	일방향 균열		이방향 균열		Description	Q'ty	
	Description	Q'ty	Description	Q'ty			
A	없음, 0.1mm 이하 부분적		없음		없음	94.7%	
B	0.1~0.2mm 간헐적(30cm 이하)		없음		없음		
C	0.1~0.2mm 길이 50cm이상 (20cm 이하간격)		0.1~0.2mm 부분적		없음		
D	0.1~0.2mm 길이 50cm이상(20cm이하 간격)		0.2~0.3mm 망상균열 형태		국부적		
E	0.4mm 이상 균열로 발견		0.2~0.3mm 망상균열 형태		전반적	5.3%	

등급	백태(103)		파손(104)		철근노출(201)		누수(605)		GroupII 등급별 물량
	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	
A	없음, 후 보수회복 상태 포함	94.7%%	없음	95.3%	없음	99.05%	없음	92.3%	
B	국부적 발생, 초기상태		없음		없음		없음		
C	표면전반 에 얇은 백태		국부적		없음		균열사이로 누수		
D	균열 주변에 심한 백태	5.3%	국부적		부분 적, 부식 동반		균열주변으로 누수 악화, 콘크리트 표면 부식	3.7%%	
E	균열 주변에 심한 백태		전반적	4.7%	다수 발생, 부식 심화	0.95%	균열 사이로 녹물이나 니토발생, 부식에 의한 탈락		

그림 6-25 수로교 구조부위별 열화종류별 분배율-상판부

상판부 (Group 1 ID 10)  
 신축이음 장치 본체(고무형) (Group 2 ID 51)

등 급	누수(601R)		유간(603)		노화(801)		탈락(803)		Group II 등급별 물량
	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	
A	없음	98.6%	정상동작		없음		없음		
B	없음		정상동작		고무판 노화		없음		
C	물받이 파손으로 누수발생		유간사이 이물질로 기능 불량		물받이 고무의 부분파손		없음		
D	누수로 인한 신축이음 하부 구조물 부식발생	1.4%	유간이 폐쇄 혹은 비정상적 으로 넓음		고무판 균열		볼트 또는 너트의 부분탈락		
E	하부 구조물의 부식 심화		유간이 폐쇄 혹은 비정상적 으로 넓음		고무판 균열		신축이음 본체 탈락		

그림 6-25 수로교 구조부위별 열화종류별 분배율-신축이음

하부구조(Group I ID 30)  
 교각 (Group II ID 20)

등 급	균열(101), 박리(102), 백태(103), 파손(104)						Group II 등급별 물량
	교각본체		교각 코핑부		주형 받침부		
	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	
A	없음, 0.1mm이하 균열	84.5%	없음		없음	84.5%	
B	0.2mm 균열 부분적, 표면부식		미세균열		없음		
C	0.2~0.4mm 종방향 균열 부분적 시공이음부와 단면변화부에 횡방향 균열		부분적 균열		박리가 부분적 발생		
D	0.5mm 종방향 균열, 균열 사이 백태 심함	6.8%	철근노출	6.8%	콘크리 트 부식 및 탈락	6.8%	
E	0.5mm 이상 균열, 일부 탈락	8.7%	골재탈락	8.7%	콘크리 트 부식 및 탈락	8.7%	

그림 6-25 수로교 구조부위별 열화종류별 분배율-하부구조

System Out Put (수로교 제 9 Span)

	Decription				Q'ty	Unit	판정	Possibi e Repair Method	Recom -mend
	부위		손상상태						
	Group I	GroupII	손상종류	등급 상태					
10-40-102E	수로교 상부	상판부	박리	E	1.9	m <sup>2</sup>	전면보수	05-2 05-9	05-2
10-40-103D	"	"	백태	D	1.9	m <sup>2</sup>	부분보수	04-23-2	09-10
10-40-104E	"	"	파손	E	1.7	m <sup>2</sup>	전면보수	04-1	07-26
10-40-605D	"	"	철근노출	D	0.3	m <sup>2</sup>	전면보수	04-2	04-5
10-40-605D	"	"	누수	D	1.3	m <sup>2</sup>	부분보수	04-12	
10-51-601R D	"	신축이음	누수	D	0.1	m	부분보수	05-11 07-26	

상부구조 전체등급 : E급

전면보수

30-20-102E	수로교	교각	탈락	E	3.72	m <sup>2</sup>	전면보수	09-10	
104E	하 부							04-3 04-5	

하부구조 전체등급 : E급

수로교 전체등급 : E급

그림 6-26. 수로교 구조부위별 열화 등급과 공법 선정

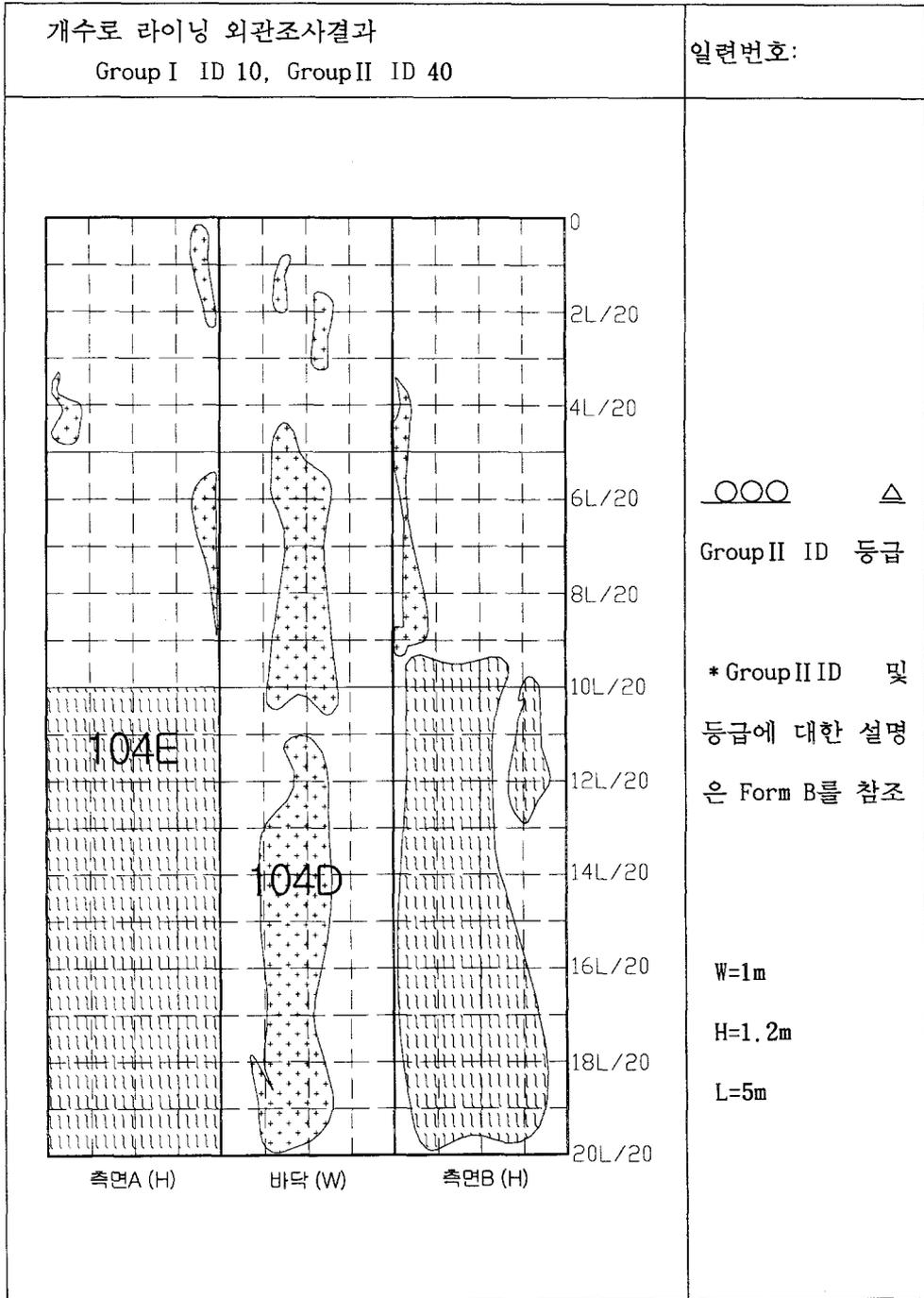


그림 6-27 배수로 라이닝의 열화현황 입력

상판부 (Group 1 ID 10)  
 상판(균열 및 탈락) (Group 2 ID 40)

등 급	균열(101)				박리(102)		GroupII 등 급별 물량
	일방향 균열		이방향 균열		Description	Q'ty	
	Description	Q'ty	Description	Q'ty			
A	없음, 0.1mm 이하 부분적		없음		없음		
B	0.1~0.2mm 간헐적(30cm 이하)		없음		없음		
C	0.1~0.2mm 길이 50cm이상 (20cm 이하간격)		0.1~0.2mm 부분적		없음		
D	0.1~0.2mm 길이 50cm이상(20cm이하간격)		0.2~0.3mm 망상균열 형태		국부적		
E	0.4mm 이상 균열로 발전		0.2~0.3mm 망상균열 형태		전반적		

등 급	백태(103)		파손(104)		철근노출(201)		오염(605)		GroupII 등급별 물량
	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	Descr.	Q'ty	
A	없음, 보수 후 원상회복 상태 포함		없음	62.1%	없음		없음		
B	국부적 발생, 초기상태		없음		없음		없음		
C	표면전반에 얇은 백태		국부적		없음		균열사이로 누수		
D	균열 주변에 심한 백태		국부적	10%	부분적, 부식동 반		균열주변으로 누수 악화, 콘크리트 표면 부식		
E	균열 주변에 심한 백태		전반적	27.9%	다수 발생, 부식 심화		균열 사이로 녹물이나 니토발생, 부식에 의한 탈락		

그림 6-28 배수로 열화종류별 분배율

## System Out Put (개수로 라이닝)

	Description				Q'ty	Unit	판정	Possibie Repair Method	Recom -mend
	부위		손상상태						
	Group I	Group II	손상종류	등급 상태					
10-40-104D	개수로 라이닝		박락	D	1.7	m <sup>2</sup>	부분보수	04-23-2 04-12	04-12
10-40-104E	"		파손	E	4.7	m <sup>2</sup>	전면보수	05-2	

개수로 라이닝 전체등급 : E급

## 2. 시험 시공

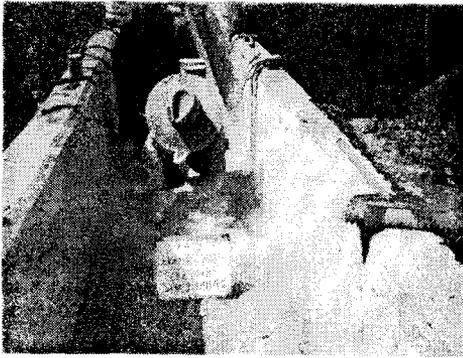
### 가. 수로교와 배수로

개발된 시스템을 손상과 열화가 진전된 농로교, 수로교, 용수개거에 적용시켜 본 결과 수로교 슬래브와 측벽에 대한 보수 공법으로 패칭공법이 선정되었고, 신축이음부에 대해서는 실린트 실링공법이 선정되었다. 그리고 슬래브와 측벽의 이어치기 부분의 누수에 대해서는 누수실링 공법이 선정되었고 교각에 대해서는 코핑부 단면 확대 공법이 선정되었다. 슬래브와 측벽에 적용되는 패칭 공법의 보수재료로 5장 2절의 최적 보수공법 선정 실험에 사용된 다양한 보수재료들이 사용되었다. 다양한 보수재료를 이용하여 시험 시공한 이유는 열악한 사용 및 노출 조건하에서 보수재료의 내구성능을 조사하기 위한 것이다. 시험 시공후 정기적인 관찰과 장기간 경과 후 보수재료 성능 평가를 실시하면 열악한 노출환경하의 농업수리구조물에 적합한 보수재료를 선정하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

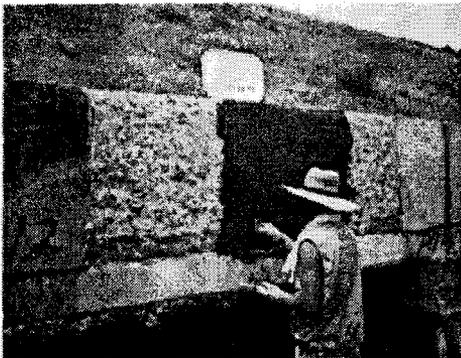
다음 그림들에는 시험 시공된 보수공법들의 시공절차가 나타나 있는데 그림 6-30에는 수로교 슬래브와 측벽에 대한 패칭 공법, 그림 6-31은 슬래브와 측벽이어치기 부위 (콜드 조인트) 누수 실링공법, 그림 6-32은 수로교 신축이음부 실링공법, 그림 6-33은 수로교 교각 단면 확대 공법에 관한 것이다.

수로교 슬래브와 측벽에 사용된 패칭공법의 시공은 1)쪼아내기 2)면정리 3)보수재료 타설(일반몰탈, 고강도 몰탈, 복구몰탈, 방수몰탈, 중성화방지제)순으로 진행되고, 슬라브와 측벽이어치기 부위(콜드 조인트) 누수 실링공법은 1)헌치면 정리

2)현치면 보수 3)이어치기 부위 천공 4) Packer 설치 5)방수재 주입 6)실링, 수로교 신축이음부 실링공법은 1)이음부위 V자 홈파기 2)면정리 3)바닥면 탄성접합제 실링 4)측벽내·외부 실런트 실링, 수로교 교각단면 확대공법은 1)코핑부위 쪼아내기 2)면정리 3)앵커볼트설치 4)거푸집 설치 5)무수축 몰탈 타설 순으로 시공되어졌으며, 배수로의 시공순서는 1) 열화부위 쪼아내기 2)면정리 3)거푸집 설치 4)보수재료 타설(고강도 몰탈, 무수축 몰탈, 일반 몰탈)이다. 공법의 보다 자세한 사항은 5장 2절에 나타나 있다.



ㄱ. 이물질을 제거하기위한 치핑 과 면처리



b. 보수재료 시공

c. 증성화 방지제 혼입 몰탈

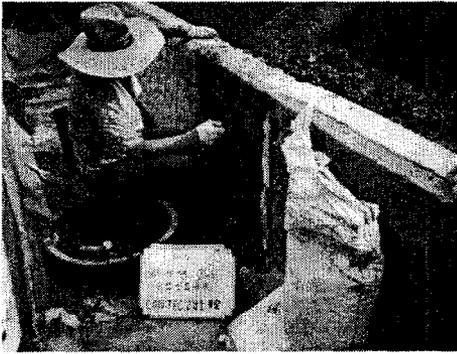
그림 6-30 수로교 슬라브와 측벽에 대한 패칭 공법 (계속)



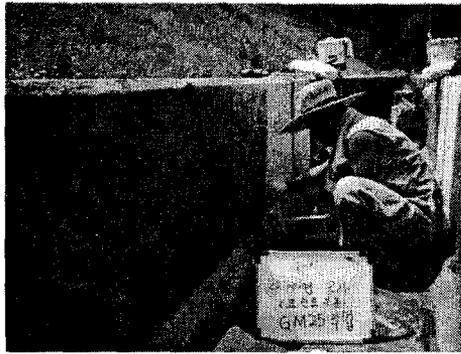
d. 일반 몰탈 시공



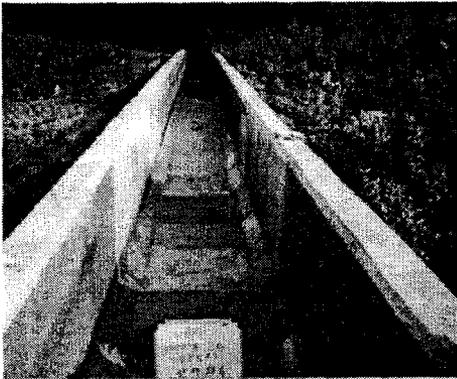
e. 방수 몰탈



f. 고강도 몰탈



g. 단면 복구 몰탈



h. 내외부 보수·보강 재료 시공 완료

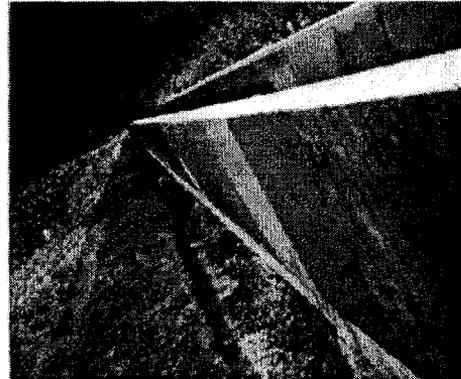
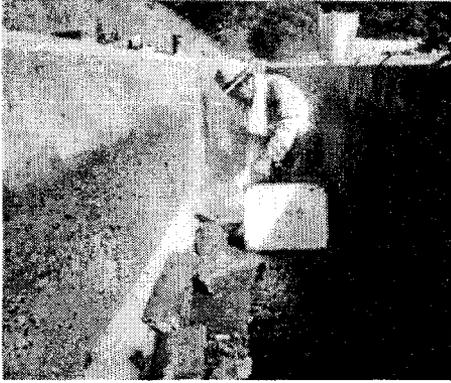


그림 6-30 수로교 슬라브와 측벽에 대한 패칭 공법



a. 헌치면 정리



b. 헌치 보수 작업



c. 조인트 부위 천공 작업



d. 조인트 부위 팩커 작업



e. 방수제 주입 작업

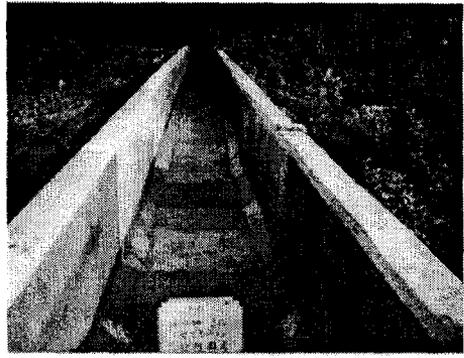


f. 씰링 작업

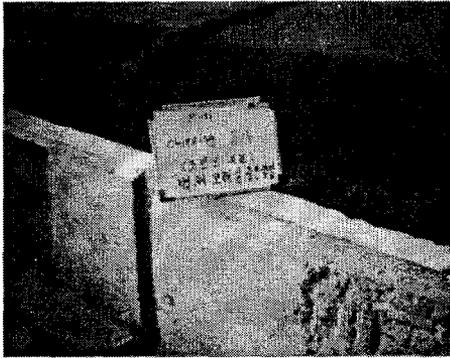
그림 6-31 슬라브와 측벽 이어치기 부위 (콜드 조인트) 누수 실링공법



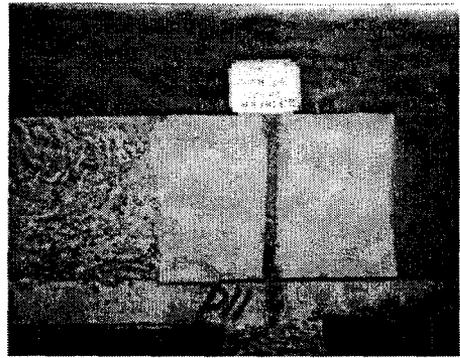
a. 신축이음부의 커팅과 면정리



b. 바닥 조인트 탄성 접합제 주입  
(습한곳에 사용)



c. 측벽 내부 실런트 실링  
(건조한곳에 사용)

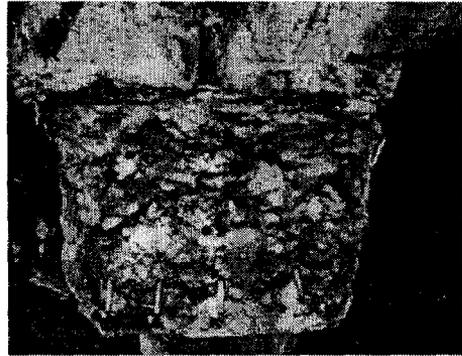


d. 측벽 외부 실런트 실링  
(건조한곳에 사용)

그림 6-32 수로교 신축이음부 실링공법



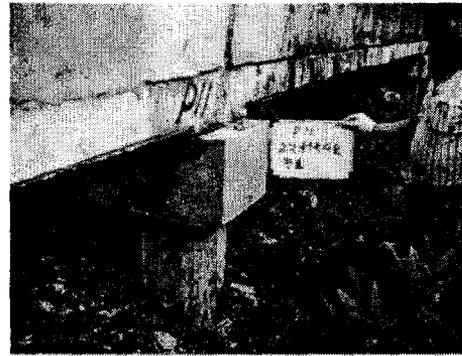
a. 코핑부위 쪼아내기



b. Anchor Bolt 시공



c. 교각 거푸집 시공



d. 무수축 몰탈 타설 완료

그림 6-33 수로교 교각 단면 확대 공법



a. 배수로 치핑 작업



b. 배수로 거푸집 작업

c. 보수·보강재료 시공



d. 고강도 몰탈 타설

e. 무수축 몰탈 타설

f. 일반 몰탈 타설

그림 6-34 배수로 박층 Overlay 공법

## 다. 농로교

### 1) 서론

본 교량은 충남 예산군 덕산면 구만리 구만초등학교 앞 예당저수지 용수 간선을 가로지르는 길이 7.2m 폭 4.2m의 대표적인 소규모 농로교이다. 이 교량은 시공후 약 30년이 지나 외관상 노후화가 일부 진전된 상태이며, 설계당시 예상치 못했던 중차량의 통행이 빈번하여 붕괴위험에 대한 주민들의 민원이 있어 왔는데, 이러한 일은 소규모의 농로교에 있어서 흔히 있을 수 있는 것이다. 본 연구에서 대상으로 삼은 교량의 경우도 관리주체인 농업기반공사 예당지부에서 박스교로 신설을 고려하고 있는 상황이다. 그러나 현장조사를 통해서 확인된 것은 대부분의 오래된 농로교가 설계당시 예상치 못했던, 기계화, 규모화 영농으로 과다하중을 받고 있고 폭이 지나치게 협소하여 영농기계의 이동이 어렵다는 사실이다. 이런 현실에서 관리주체는 예산을 확보하여 신설하기를 원하지만 쉽지 않기 때문에 방치되고 있는 경우가 많다. 본 연구에서는 이런 사정을 감안하여 연구대상의 농로교에 대하여 정밀안전 진단을 실시하여 내하력을 판정하고 신설 외의 대안은 없는지를 검토하게 된 것이다.

### 2) 정밀 안전진단

#### 가) 대상교량

조사 대상 교량에 대한 제원은 그림6-35a와 같고, 교량 전경은 그림 6-36에 나타나 있다.

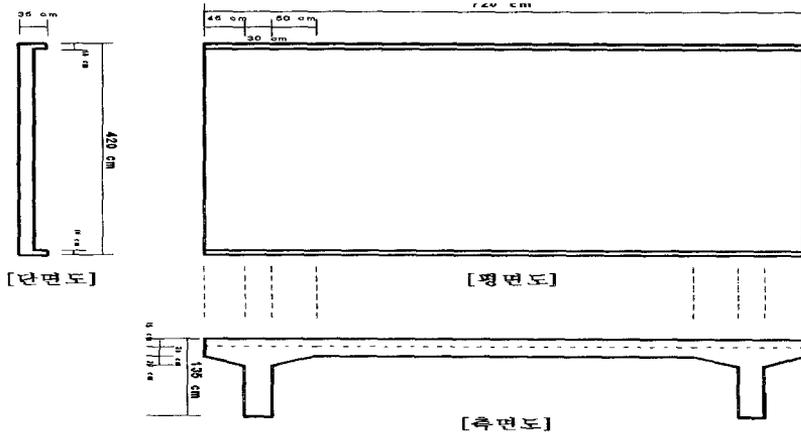


그림 6-35 농로교 제원



그림 6-36 농로교 전경

나) 강도 및 중성화

콘크리트 강도는 Schmidt Hammer, 코아 공시체를 사용하여 측정하였다. 측정은 3cm 간격의 정방형 4×5 격자를 형성하여 각 지점마다 1회씩 총 20회 타격하여 평균을 구하였다.

측정위치 및 추정강도는 표 6-7과 같다.

표 6-7 농로교 Schmidt Hammer에 의한 압축강도추정시험 결과

NO	측정치					평균치	타격각도	기준반발	압축	재령계수	보정압축	압축강도
							보정치	경도	강도		강도	강도
						R	$\Delta R$	$R_0$	$F_c$	$\alpha_n$	$F_c$	kg/cm <sup>2</sup>
슬 래 브	28.5	31.5	30.5	30	31.5	32.32	0	32.32	236. 16	0.63	148.78	160.52
	33	30	36	32.5	31.5							
	30.5	28	37	25	30.5							
	31.5	37	34	34.5	33							
	33	38.5	34	36	30.5							
교 대	42	53	50	47.5	39.5	44.52	-4.5	40.02	336. 26	0.63	211.84	216.37
	38	42.5	48	45	45.5							
	50	45	46	43	40							
	42.5	41	41	40	44.5							
	44	54	44	45	42							

한편, 슈미트햄머 Test에 의한 압축강도 추정치의 정확도를 확인하기 위하여 슬라브에서 1개의 Core를 채취하여 압축강도 및 중성화시험을 실시하였다. 압축강도 시험 결과 슬라브 강도는 약 149kg/cm<sup>2</sup>로 슈미트 해머 시험 결과치에 비해 낮게 나타났다. 그림 6-38은 코어 압축강도 결과가 나타나있다.



그림 6-37 슈미트 해머 테스트

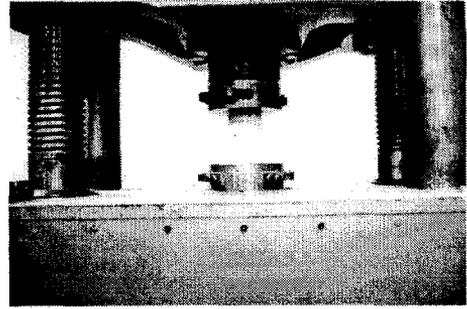
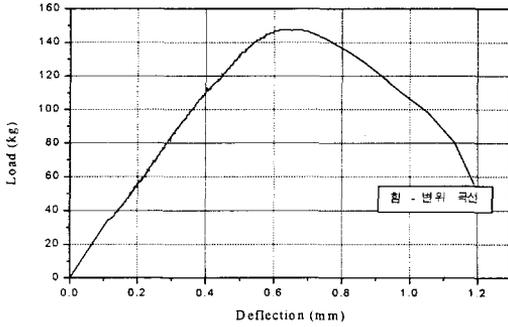


그림 6-38 슬래브 압축강도 시험

채취한 코아시료에 페놀프탈레인 1% 용액을 이용하여 중성화 깊이를 측정하였다. 실험결과 슬래브에서 채취한 공시체에서는 최고 3.4cm까지 중성화침투가 확인되었다. 철근의 피복 두께 3cm임을 감안하면 철근의 부식으로 진행될 가능성이 많음을 알 수 있다.

#### 다) 내하력 평가

##### (1) 평가 방법

교량의 효율적인 운용과 유지보수를 위해서 내하능력(Load-Carrying Capacity)을 평가할 필요가 있다. 현재 우리나라에서 사용되고 있는 교량은 여러 종류의 설계 기준에 의해서 건설되었기 때문에 활하중 부담 능력에 있어서 폭넓은 변동성을 갖고 있다. 또한 통행차량의 형상 및 중량, 구조물의 상태, 통행량의 변화등 여러 인자등에 의해서 각 교량의 구조적 조건이 계속해서 변화하고 있다. 이러한 변화는 교량의 허용 내하력을 결정하는데 있어서 합리적으로 고려되어야 한다. 통행차량에 의한 활하중 영향과 구조부재의 내하력은 불확실한 특성을 갖는 여러 요인들에 의해서 구성되는 변수들이기 때문에 노후 교량의 안전평가를 수행하기 위해서는 이들에 대한 정확한 평가가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 현장에서 측정된 교량의 제원과 이론적인 구조해석을 통해 얻어진 기본 내하력을 토대로 교량의 경제성, 안전성등을 고려하여 통행가능 최대하중을 산정하는 허용응력 이론에 의한 내하력 평가 방법을 이용하는데 그방법은 다음과 같다.

기본 내하력이란 교량을 구조이론에 따라 해석했을 때 교량이 감당할 수 있

는 활하중의 크기를 평가 기준 하중(DB-13.5)으로 하여 비례적으로 나타낸 값이다. 즉 교량이 안전하게 부담할 수 있는 활하중에 의한 응력의 최대값은 부재 재료의 허용 응력에서 사하중에 의한 응력을 뺀 값이므로 다음과 같은 비례식이 성립된다.

$$P = 13.5 \times \frac{\sigma_a - \sigma_d}{\sigma_{13.5}} \quad (6-1)$$

여기서, P : DB 하중으로 환산한 기본 내하력

$\sigma_a$  : 재료의 허용응력

$\sigma_d$  : 사하중에 의한 응력

$\sigma_{13.5}$  : DB-13.5 하중에 의한 응력

이며, 기본 내하력은 교량의 이론적인 현재의 강도를 나타내는 값이므로 응력 계산에 있어서 부식등에 의한 단면 감소가 있을 경우 이를 고려하여 계산하여야 한다. 철근의 허용응력은 설계당시의 적용시방서에 따르는데 우리나라의 경우 도로교 표준 시방서가 제정되었던 1972년 이후에는  $1,500 \text{ kg/cm}^2$ 를 사용한다. 그러나 기본내하력은 이론적인 계산치이므로 이 값을 그대로 통행가능 최대 하중으로 채택하는 것은 경제성과 안전성으로 볼 때 문제점이 있다. 즉 계산에 의한 응력값은 재하시험으로부터 얻은 측정값에 비해 일반적으로 크기 때문에 그 비율(계산응력/실측응력)만큼 기본 내하력을 증가시켜 교량 운용의 경제성을 높인다. 반면 교량의 노면상태가 극히 불량하거나 1일 통행량이 큰 경우에는 이를 감안하여 앞에서 할증된 기본 내하력을 보정하여 보다 안전한 교량유지가 가능하도록 하여야 한다. 즉 위와같이 교량의 내하력에 영향을 미치는 요소들은 보정계수를 통하여 고려함으로써 실제 통행가능 최대 하중을 결정하는 것이다.

앞에서 설명한 기본내하력에 몇가지 보정계수를 곱하여 줌으로서 실제로 적용할 수 있는 통행가능 최대하중 P'는 식(6-2)와 같이 결정된다.

$$P' = P \times K_s \times K_r \times K_t \times K_o \quad (6-2)$$

여기서, P : 기본내하력

$$K_s = \frac{\varepsilon(\text{계산치})}{\varepsilon(\text{실측치})} \frac{1+i(\text{계산치})}{1+i(\text{실측치})} : \text{응력보정계수}$$

$K_r$  : 노면상태에 따른 보정계수

$K_t$  : 교통상태에 따른 보정계수

$K_o$  : 기타 조건에 따른 보정계수

이며, 식(6-2)의 보정계수 중  $K_s$  와  $K_r$  은 측정자료로부터 그 값을 구하여 실제로 사용하고 있으나  $K_t$  와  $K_o$ 는 각 교량마다 서로 상이하기 때문에 보편적인 정량치를 구하기 어려워 대개 전문가의 판단에 위임하고 있다. 일반적으로 사용하는 보정계수는 다음과 같다.

(가) 응력에 관한 보정계수  $K_s$

널리 사용되고 있는 구조해석이론으로 구한 교량의 부재응력은 일반적으로 실제의 현장 재하시험에서 얻은 값보다 크다. 따라서 이 비율만큼 기본 내하력을 증가시켜 줌으로써 계산치와 실측치의 차이를 보정할 수 있다. 따라서 실측치에 대한 계산치의 비를  $K_s$ 라고 한다. 이 값은 개개의 교량에 대해서 측정하여 결정할 수도 있지만 대개는 현지 교량 조사로부터 얻은 결과를 토대로 하여 바닥판의 경우 1.0을 사용해도 무방하다.

(나) 노면상태에 관한 보정계수  $K_r$

노면의 요철은 차량이 주행할 때 교량에 충격을 주게 되고 이 충격의 크기는 노면 상태가 좋고 나쁨에 따라 크게 좌우된다. 그러므로 이 충격이 교량에 미치는 영향이 크기 때문에 내하력을 판정할 때 이것을 고려해야 한다. 물론 내하력을 산정할 때 활하중에 대한 충격계수의 영향을 포함하고 있으나 이러한 활하중에 의한 충격외에 노면의 평탄성이 불량한 경우에도 실측 결과를 바탕으로 보정하여야 한다. 외국에서는 실측 결과를 바탕으로 표6-8과 같은 값을 채택하고 있다.

표 6-8 노면상태에 따른 보정계수

노 면 상 태	$K_r$
약간의凹凸이 있는 포장노면	1.00
포장에 다소의 박리가 있고 차량 통과시 약간의 진동이 있는 경우	0.95
포장에 박리가 심하고 그 부분에서 차량 통과시 차체에 진동이 많은 경우	0.90
포장파손이 심하여 차량통과시 차체의 진동이 극심한 경우	0.85

(다) 교통상태에 의한 보정계수  $K_t$

기본 내하력은 현행 시방서에 의한 활하중 배열에 따른 응력으로부터 얻어졌으나 실제로 교량을 주행하는 차량 배열은 시방서의 조건보다 가혹한 경우도 있고 그렇지 않은 경우도 있기 때문에 기본 내하력은 이와같은 교통 상황을 감안하여 적절한 통행 가능 최대하중을 결정하여야 한다. 이에 관한 조사를 수행함에 있어서 착안해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 통행차량의 분포에 관한 조사
- ② 통행차량의 빈도 조사
- ③ 차량의 통과 위치 조사

일반적으로 교통상태에 관한 계수는 개개의 교량에 따라 실제의 교통상황을 조사하여야 하므로 구체적인 값을 제시하기는 쉽지 않다. 따라서 이에 관해서는 전문가의 판단에 위임하고 있다.

(라) 기타 조건에 관한 보정계수  $K_o$

기타 조건이란 앞의 3가지 조건 이외의 모든 조건을 통칭하는 것인데 일반적으로 ① 교량부재의 부식 및 손상에 의한 부재 단면의 감소 ② 하부구조의 영향 ③ 노선의 중요도 등을 말한다.

본 조사에서는 외관 조사 결과를 평가하여 교량의 평가 등급에 따라 다음과 같이 계수를 적용하였다.

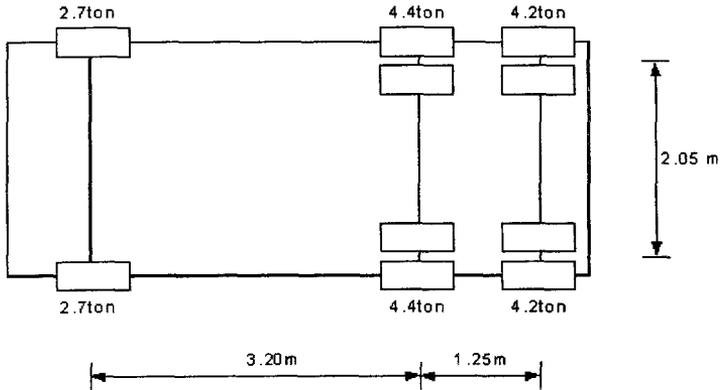
평가등급	A	B	C	D	D이하
계 수	1.0	0.95 - 0.9	0.85 - 0.8	0.75 - 0.7	0.65이하

(2) 재하시험

재하시험은 만재한 재하트럭 1대를 휨모멘트에 의한 변형 및 처짐이 최대가 되는 지점에 재하 하여 슬래브의 처짐과 철근의 변형률을 측정 하였다.

시험용 재하차량은 적재하중이 15ton인 덤프트럭에 모래를 적재하여 사용하였고 재하차량의 축 하중 및 재하차량의 주요 제원은 그림 6-39와 같다.

그림 6-40에는 재하시험을 위하여 설치된 게이지와 LVDT의 위치, 그림 6-41은 차량의 정적 재하위치, 그림 6-42은 재하시험 광경을 나타낸다.



총중량: 22.6ton (≒ DB13 ton)

그림 6-39 차량제원

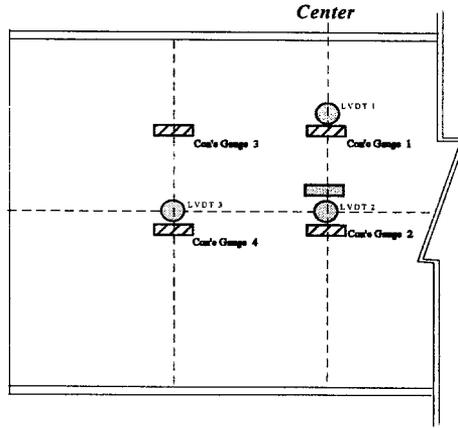


그림 6-40 게이지와 LVDT 설치위치

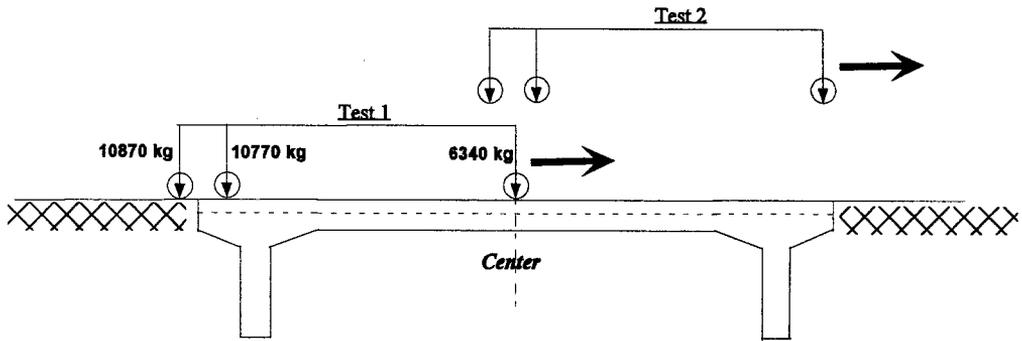
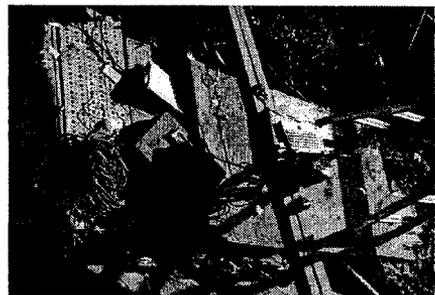


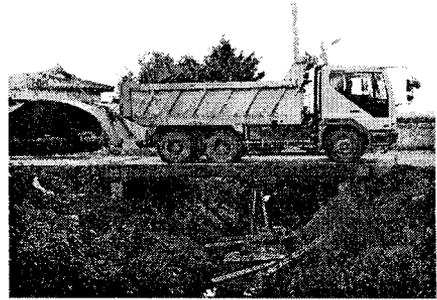
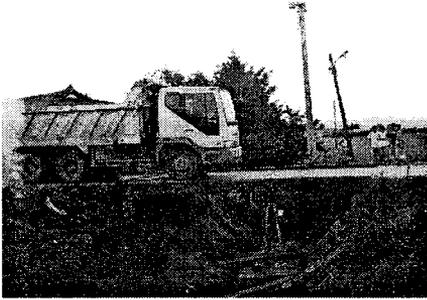
그림 6-41 트럭 재하 위치



a. LVDT 변위계 설치



b. 데이터 기록 장치 셋업



c. 트럭 재하

그림 6-42 재하시험 광경

본 교량의 내하력 산정에는 위의 내하력 계산방식에서  $K_s = 1$ 을 사용하고 현장 조건에 따라서  $K_t = 0.5$   $K_0 = 0.8$ 을 이용하였다.

단위폭당 철근량을  $38.54\text{cm}^2$ 로 하고,  $n=P$ 를 이용하여 단순보에 후륜하중이 교량중앙에 있을 때 철근응력  $\sigma_{13}$ (재하중 DB-B에대한))을 계산하고 사하중 응력  $\sigma_d$ 를 계산하면  $\sigma_{13} = 400\text{kg/cm}^2$ ,  $\sigma_d = 324\text{kg/cm}^2$ 로 계산되어 최대 허용내하력 DB 15Ton으로 계산되었다. 그리고 그림 6-43과 그림 6-44에는 재하 시험에 따른 하중-변위 관계와 변형률 시간 이력 곡선이 보이고, 보 중앙의 정적 최대 처침은 6.4cm 정도이고, 28km/hr 주행시 6.9cm로 나타났다.

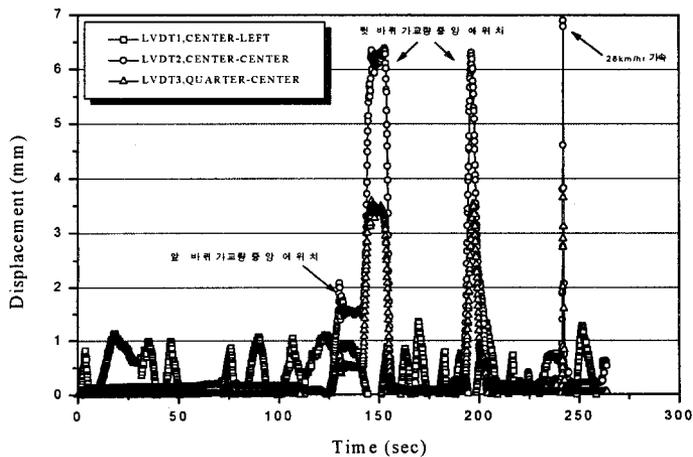


그림 6-43. 재하시험에 의한 하중-변위 관계

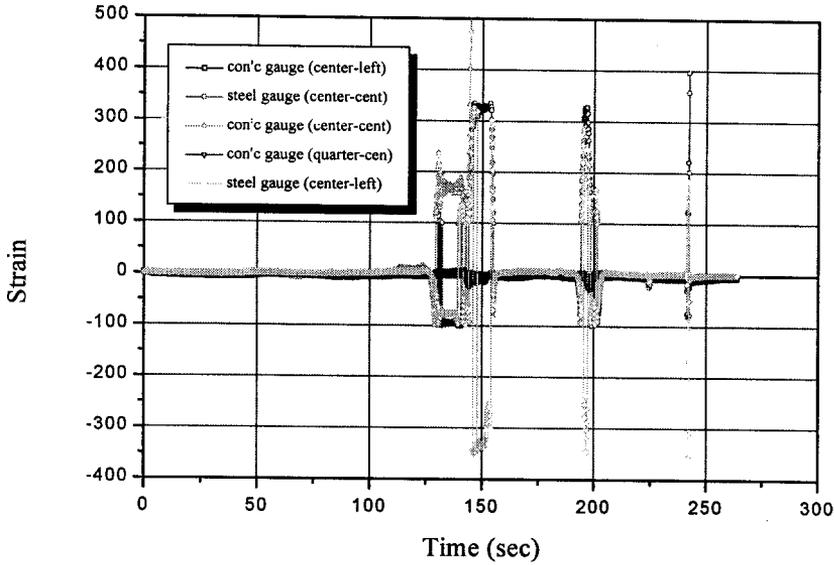


그림 3-44 변형률-시간 이력 곡선

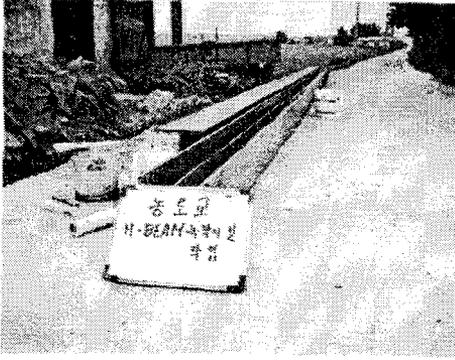
### 3) 보강공법 시험 시공

안전진단 시스템을 통한 진단결과 대상교량은 C급으로 부분적인 보수를 요하는 수준이었다. 정밀안전진단 결과 내하력이 DB15ton으로 예상외로 큰 값을 보여주었다. 그러나 이것은 교량의 길이가 7.2m에 불과하여 교량에 최대휨모멘트를 일으킬수 있는 곳에 덤프트럭을 위치 시키는 경우 전륜축이 교량밖에 놓이게 되기 때문이다.

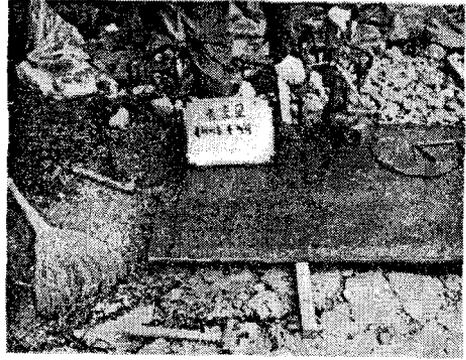
한편 콘크리트 강도측정 결과, 코아 압축시험 149Kg/cm<sup>2</sup> 슈미트 햄머결과 160kg/cm<sup>2</sup>로 전체적으로는 150Kg/cm<sup>2</sup>로 추정되었다.

콘크리트의 강도부족, 열화로 인한 주민들의 불안감, 중차량통행, 확폭 필요성을 고려하고, DB-18ton의 3등교 수준으로 내하능력을 향상시키기 위하여 교량 상부를 3개의 H-Beam(H200x200x4x4)으로 보강하고 재하시험을 통하여 보강효과를 확인하였다.

그림 6-45는 농로교에의 H-Beam 보강 공사 과정을 나타낸다.



a. 방청 작업



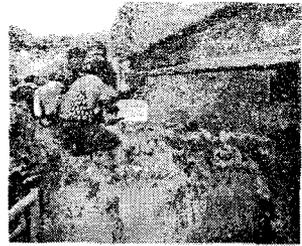
b. 볼트 Hole 제작



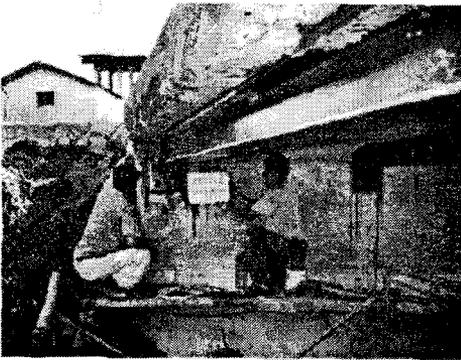
c. 패칭 작업



d. 브라켓 설치



e. 보 설치 후 Putty 작업



f. 보 설치후 Epoxy 충전 작업



g. 농로교 H-Beam 보강 작업 완료

그림 6-45 농로교 H-Beam 보강 시험 시공

#### 4) 보강후 내하력 평가

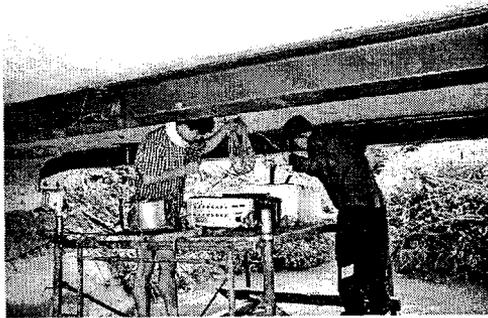
그림 6-46는 H-Beam 보강후 재하 시험 과정, 그림 6-47는 보강후 차량의 재하 시험결과를 나타낸다. 그림 6-48에는 보강 전후의 재하시험 결과가 비교되어있다. 이 그림을 살펴보면 보강후 보 중앙의 최대처짐이 보강전 6.4mm에서 1.54mm로 대폭 감소하여 보강효과가 큰것을 확인할 수 있었다. 확폭 시공시 슬래브 외측의 보강 빔에 수직으로 캔틸레버를 볼트로 연결하여 슬래브를 확장하면 효과적일 것이다. 이 보강공법은 예산상의 문제로 방치된 노후교량의 보강및 확폭시공에 매우 유용한 방법이 될 것으로 판단된다



a. LVDT 변위계 설치



b. Stain Gauge 설치



c. 변형률 측정기 설치



d. 재하시험

그림 6-46 농로교 H-Beam 보강 후 재하 시험

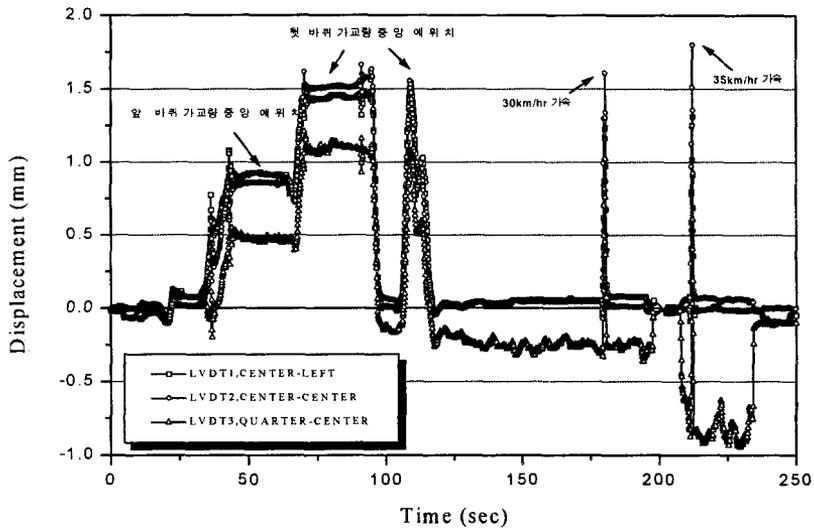


그림 6-47 농로교 보강후 재하시험 결과

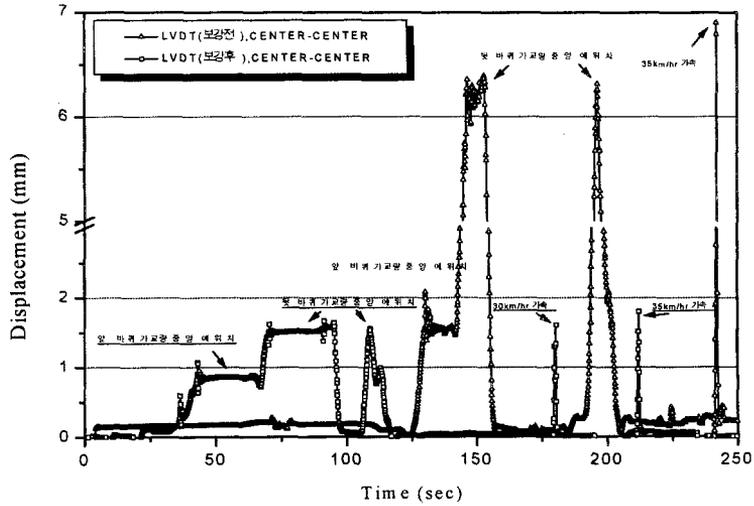


그림 6-48 농로교 보강 전, 후 재하시험 결과 비교

### 제3절 요약 및 결론

1. 제4장에서 설명한 구조물별 조사내용 표기방법, 부위별 상세한 결함 및 결함의 고유번호, 점수체계와 판정 Rule을 이용하여 농업 구조물 안전진단 및 보수·보강, 신설 대책 수립 시스템(안전진단 및 대책 결정 시스템, SAD : System for Appraisal and Decision)을 개발하였다.

농업시설물과 구조물을 분류하고, 이러한 시설물의 현황조사와 구조물의 안전도의 평가를 위하여 각 시설물의 기능별 객체를 관계형 데이터베이스를 이용하여 관리 할 수 있도록 설계하였다. 본 시스템은 사용자 접속환경(Graphic User Interface)과 파일 시스템을 이용하여 자료를 입력, 갱신, 삭제하며 입력된 자료를 이용하여 객체를 생성하고 생성된 객체를 Graphic처리, 검색하여 필요한 자료를 관리자에게 제공하는 구동 체계를 가지고있으며, 사용자의 편의를 고려하여 메뉴와 윈도우 방식을 채택하였으며, 데이터베이스를 사용하여 조사자료의 입력과 분석구조의 정의에서부터 하나의 시스템에서 처리하도록 하였다. 또한 개인별 데이터베이스를 이용하여 진단결과와 현장에서 촬영한 각종 사진자료를 안전진단 기술자가 추후 확인하거나, 증빙자료로 제출 할 보고서 작성을 지원할 수 있도록 하였다.

자료관리의 기본환경은 농조지구의 시설물을 관리할 때 객체 단위로 이루어지므로 시설물관리에서 구조물을 입력하는 순간, 조사표 입력 화면폼과 구조물의 성능계산, 지구전체 수자원 시스템의 기능성 평가 등을 동시에 확인할 수 있는 시스템안전진단을 위한 기초시스템으로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

시설물의 점검에 의한 안전도 평가등급을 결정한 후 부위별, 노후 원인별로 가장 적합한 보강공법의 등록과 공법 시방서의 관리를 위하여 보수보강 공법 데이터베이스를 설계하였다. 이 자료를 바탕으로 시설물의 보강공법이 선정되면 각각의 공법에 대한 사용자 지원 프로그램은 Web browser를 통하여 사용이 가능하도록 함으로써 향후 신규 보강공법의 개발 또는 공법의 수정이 요구되는 경우에도 원격으로 유지관리가 될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 개발된 시스템은 소규모 농로교, 수로교 및 배수로 콘크리트 구조에 적용하여 신뢰성과 타당성을 확인하였다. PDA(Personal Digital Assistant)를 이용하여 조사내용

을 입력하고 이것을 안전진단 및 대책 결정 시스템(SAD)에 연결하면 시스템의 효용성이 배가될 것으로 판단된다.

3. 농로교의 경우 시공후 약 30년이 지나 외관상 노후화된 반면 설계당시 예상치 못했던 중차량의 통행이 빈번하여 붕괴위험에 대한 주민들의 민원이 있어 왔는데, 이러한 일은 소규모의 농로교에 있어서 흔히 있을 수 있는 것이다. 본 연구에서 대상으로 삼은 교량의 경우도 관리주체인 농업기반공사 예당지부에서 박스교로 신설을 고려하고 있는 상황이다. 그러나 현장조사를 통해서 확인된 것은 대부분의 오래된 농로교가 설계당시 예상치 못했던, 기계화, 규모화 영농으로 과다하중을 받고 있고 폭이 지나치게 협소하여 영농기계의 이동이 어렵다는 사실이다. 이런 현실에서 관리주체는 예산을 확보하여 신설하기를 원하지만 쉽지 않기 때문에 방치되고 있는 경우가 많다. 본 연구에서는 이런 사정을 감안하여 연구대상의 농로교에 대하여 정밀안전 진단을 실시하여 내하력을 판정해보고 신설외의 대안은 없는지를 검토하게 된 것이다.

안전진단 시스템을 통한 진단결과 대상교량은 C급으로 부분적인 보수를 요하는 수준이었다. 정밀안전진단 결과 내하력이 DB15ton으로 예상외로 큰 값을 보여주었다. 그러나 이것은 교량의 길이가 7.2m에 불과하여 교량에 최대 휨모멘트를 일으킬 수 있는 곳에 덤프트럭을 위치시키는 경우 전문축이 교량밖에 놓이게 되기 때문이다.

한편 콘크리트 강도측정 결과 코어 압축시험  $149\text{Kg}/\text{cm}^2$  슈미트 햄머결과  $160\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 전체적으로는  $150\text{Kg}/\text{cm}^2$ 로 추정되었다.

콘크리트의 강도부족, 열화로인한 주민들의 불안감, 중차량통행, 확폭 필요성을 고려하고 DB-18ton의 3등교 수준으로 내하능력을 향상시키기 위하여 교량 상부를 3개의 H-Beam(H200x200x4x4)으로 보강하고 재하시험을 통하여 보강효과를 확인하였다. 보 중앙의 최대처짐이 보강전 6.4mm에서 1.54mm로 대폭 감소하여 보강효과를 확인 할 수 있었다. 확폭시공시 슬래브 외측의 보강 빔에 수직으로 캔틸레버를 볼트연결하여 슬래브를 확장하면 효과적일 것이다. 이 보강공법은 예산상의 문제로 방치된 노후교량의 보강 및 확폭시공에 매우 유용한 방법이 될 것으로 판단된다.

# 제7장 요약 및 종합결론

## 제1절 요약

### 1. 제1장 서론

본 장에서는 「농업구조물의 최적설계안 선정, 안전진단 및 개보수를 위한 시스템 개발」에 대한 연구 개발의 배경, 필요성, 목표 및 내용, 기대효과 및 활용방안에 대하여 정리하였다. 본 장의 내용을 구체적으로 요약하면 다음과 같다.

1. 농업구조물 설계실무 부서에서 경험이 부족하여 숙련되지 못한 설계자도 쉽게 구조공학적 조건과 현행 콘크리트 구조설계기준을 만족하면서 가장 경제적인 설계값을 얻을 수 있는 최적설계 프로그램의 개발이 요구되고 있다.
2. 농업구조물의 안전진단을 위한 조사, 조사결과의 분석, 분석결과에 의한 보수·보강, 신설 등의 대책 결정, 보수·보강공법 선정 및 설계업무 수행 과정을 유기적으로 수행할 수 있는 System의 개발이 요구되고 있다.
3. 농업구조물에 적합한 조사 및 안전진단 기법을 개발하여 이를 활용해서 정확한 안전진단을 하고 그 결과에 따라 최적의 보수·보강공법을 도입하여 보수·보강을 하므로써 구조물의 내구연한을 증대시키고 기능성을 향상시킬 필요가 있다.
4. 농업구조물 설계시 비선형계획법을 도입하여 경제성과 안전성이 확보되는 최적의 설계안을 선정할 수 있게 하고 기 설치된 농업구조물의 안전진단 방법과 구조물 평가 기술을 개발하며 최적의 보수·보강공법을 공학적으로 객관성 있게 선정할 수 있는 System을 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.
5. 본 연구의 결과는 농업구조물에 대한 정확한 안전진단과 진단결과를 기초로 보수·보강 혹은 신설 등의 대책수립 그리고 보수·보강공법 선정 및 최적설계의 수행에 효율적으로 활용될 것이다.

### 2. 제2장 최적설계법을 이용한 농업구조물의 최적설계안 선정 프로그램 개발

본 장에서는 농업기반조성사업에서 다루게 되는 가장 대표적인 농업구조물이라 할 수 있는 옹벽, 교량(슬래브교, 단순 T형교), 수로교, 암거, 수로터널 및 낙차공의 설계시 최적의 설계값을 자동적으로 구할 수 있는 최적설계 프로그램과 3차원 설계도를 작성할 수 있는 설계도면 작성 자동화 프로그램을 개발하였다.

본 장의 내용을 구체적으로 요약하면 다음과 같다.

1. 농업구조물에 대한 현행설계 기술을 검토해본 결과 대부분의 농업구조물은 약 15년전 또는 그 이전에 개발된 농지개량사업 표준설계도(호형도)를 참고로 하여 설계하고 있어 현행 콘크리트 구조설계기준의 설계 원칙에 위배되는 설계를 하고 있었다.
2. 본 장에서 취급된 농업구조물은 모두 철근콘크리트 구조로 되어 있다.  
따라서 강도설계법을 적용하고, 콘크리트 표준시방서 및 구조설계기준의 제반 규정과 구조공학적인 조건 모두를 포함하는 제약조건식들을 유도하여 6개 농업구조물에 대한 최적설계 문제를 정식화 하였다.
3. 각 구조물별로 정식화된 최적설계 문제를 기초로 DOT에 연결하여 최적해를 구할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.
4. 본 장에서 개발된 최적설계 프로그램을 이용하여 구한 최적설계 값을 검토해본 결과 모두 합리적인 값이었으므로 본 장에서 개발된 최적설계 프로그램은 모두 실제 농업구조물의 설계에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
5. 최적설계 결과를 기초로 도출된 최적설계안 제원으로부터 농업구조물의 3차원 설계도를 작성해 주고 이로부터 각 단면도를 자동으로 작성할 수 있는 프로그램을 개발하였다.
6. 본 장에서 개발된 최적설계 프로그램과 설계도 작성 프로그램은 설계실무 부서에서 농업구조물을 설계하는데 유용하게 활용될 것으로 판단된다.

### 3. 제3장 농업구조물의 현황 및 체계적 유지관리를 위한 구조물 이력 DB

1. 농업구조물의 현황, 설계 및 유지관리 체계를 분석하여 문제점을 도출하고 개선

방향을 제시하였다. 대부분의 농업구조물은 3종시설로 체계적인 안전점검이나 진단을 받지 못하여 유지 관리가 효율적으로 이루어지지 못하고 기능 저하 및 내구수명 단축으로 이어지고 있음이 확인되었다.

2. 농업구조물을 관리를 위해서 대상지구를 선정하고 지리정보시스템을 구축하여 구조물 이력 DB 및 호환 프로그램 개발에 필요한 자료기반을 제공할 수 있도록 하고 D/B 호환프로그램을 개발하여 농업구조물의 이력관리와 개발프로그램간에 호환성을 높일 수 있도록 하였다

#### 4. 제4장 농업구조물 안전진단 및 보수·보강·신설대책 수립 시스템 개발

1. 일반적인 구조물들의 현장 조사 방법을 정리 검토하여 농업구조물의 진단에 필수적인 조사내용을 도출 하였다.
2. 구조물별, 조사내용 표기방법, 부위별 상세한 결함 및 결함의 고유번호, 점수체계와 판정 Rule을 개발하여 안전진단 및 대책 결정 시스템, SAD : System for Appraisal and Decision) 개발에 이용될 수 있도록 하였다.
3. 다양한 파괴 비파괴 조사방법에 대하여 정리하고 농업구조물에 활용도가 높은 방법의 Data Reduction 방법에 대하여 설명하였다.

#### 5. 제5장 보수보강 DB 및 최적공법 선정 실험

1. 농업구조물에 대한 손상 및 열화 원인을 현황조사와 실내·외 실험을 통하여 분석한 결과 시공과 노출환경이 주요 원인이었다. 동절기 시공, 시공관리의 어려움, 낮은 설계강도, 물과의 빈번한 접촉, 동결융해, 침식 등의 원인이 콘크리트의 손상 및 열화를 가속시켜서 일반 토목구조물보다 성능 저하가 심하였다.
2. 콘크리트 수리구조물의 손상 및 열화 현상에 대하여 보수공법을 시행할 때 가장 유의 해야할 사항은, 수리구조물이 접하게되는 열악한 환경에 저항성이 좋은 재료를 고려해야 한다는 점이다. 열악한 환경에 저항성이 좋은 재료를 조사하기 위

하여 콘크리트 수리구조물에 많이 사용되는 다양한 보수재료에 대하여 성능 평가 시험을 실시하였고 결과는 다음과 같다.

- 고강도 몰탈이 마모, 부착, 중성화, 수밀성, 동해 등에 탁월한 성능을 보였다.
  - 동해와 침식 등에는 폴리머 몰탈도 아주 우수한 저항능력을 보였다.
  - 복구몰탈, 침투성 도막 방수제 혼입 몰탈, 중성화 방수제 몰탈의 경우도 일반 몰탈만 사용한 경우 보다 모든 성능 면에서 우수한 효과를 보였다.
3. 내하력을 회복시키거나 증진시킬 필요가 있는 대표적인 수리구조물인 농로교와 수로교의 손상된 슬래브의 보강에 적용 가능한 보강공법을 균열을 발생시킨 보에 실시하고 평가실험을 수행하였다.
  4. 구조별 혹은 부재별로 손상 및 노후화 형태에 따른 210여개의 보수·보강 공법을 수집, 분석 개량하여 다양한 농업 수리구조물의 부재별 손상 및 노후화 형태에 따라 적절한 보수·보강 공법을 선택 할 수 있게 DB체계를 구축하였다.

## 6. 제6장 System 개발 및 현장 적용

1. 제4장에서 설명한 구조물별, 조사내용 표기방법, 부위별 상세한 결함 및 결함의 고유번호, 점수체계와 판정 Rule을 이용하여 농업 구조물 안전진단 및 보수·보강, 신설 대책 결정 시스템( SAD : System for Appraisal and Decision)을 개발 하였다.
2. 개발된 시스템은 소규모 농로교, 수로교 및 배수로 콘크리트 구조에 적용하여 신뢰성과 타당성을 확인하였다.
3. 농로교에 대하여 안전진단 및 대책 결정 시스템(SAD : System for Appraisal and Decision) 을 통한 진단외에 정밀안전 진단을 실시하여 내하력을 판정해 보고 열화정도가 심하고 확폭의 필요성이 있을 때 신설 이외의 대안은 없는지를 검토하였다. 시스템을 이용한 진단결과 대상 교량은 C급으로 부분적인 보수를 요하는 수준이었고, 정밀안전진단 결과 내하력은 DB15ton으로 콘크리트 압축강도는 150Kg/cm<sup>2</sup>로 추정되었다. 콘크리트의 강도부족, 열화로인한 주민들의 불안감, 중차량통행, 확폭 필요성을 고려하고 DB-18ton의 3등교 수준으로 내하능력을 향상시키기 위하여 교량 상부를 3개의 H-Beam(H200x200x4x4)으로 보강하고 재하시험을 통하

여 보강효과를 확인하였다.

## 제2절 종합결론

농업구조물은 소규모이며 다중 분산 설치된 점이 특징이다. 설계에 있어서 최적화가 가능함에도 재래적인 설계방법에 의하여 작성된 호형도를 이용하는 것이 관행이고, 설계 및 유지관리를 담당하는 전문인력이 부족하고 소규모 시설에 맞는 안전진단 방법이 정립되지 않아 구조물의 안전성에 대한 상시 점검이 이루어지지 않고 있다. 농업구조물의 설계와 이용에 있어서 경제성과 안전성을 제고하기 위해서는 신설 구조물의 설계에 있어서 농업구조물의 특성에 맞는 구조설계 기준을 적용하여 최적화를 기하고, 시공된 구조물은 체계적인 유지관리 System을 통하여 정기적으로 안전점검을 실시하며 과학적인 판단기준에 따라 최적의 보수·보강 혹은 교체 등의 대책을 취하는 일련의 신설과 유지관리의 과정들이 유기적으로 운영되어야 한다.

본 연구에서는 비선형계획법을 도입하여 경제성과 안전성이 확보된 농업구조물의 최적설계안을 선정할 수 있는 최적설계 프로그램을 개발하고 기 설치된 농업구조물의 안전진단 방법과 구조물 평가기술을 개발하며, 최적의 보수·보강 공법을 공학적으로 객관성 있게 선정 할 수 있는 System을 개발하여 농업구조물의 신설 및 유지관리 업무의 경제성과 효율성을 극대화하고자 하였으며 최종적인 연구성과는 다음과 같다.

### 1. 최적설계법을 이용한 농업구조물의 최적설계안 선정 프로그램 개발

농업기반조성사업에서 다루게 되는 가장 대표적인 농업구조물이라 할 수 있는 옹벽, 교량(슬래브교, 단순 T형교), 수로교, 암거, 수로터널 및 낙차공의 설계 시 최적의 설계값을 자동적으로 구할 수 있는 최적설계 프로그램과 3차원 설계도를 작성할 수 있는 설계도면 작성 자동화 프로그램을 개발하였다.

### 2. 농업구조물의 현황 및 체계적 유지관리를 위한 구조물 이력 DB

- 농업구조물의 현황, 설계 및 유지관리 체계를 분석하여 문제점을 도출하고 개선방향을 제시하였다
- 농업구조물을 관리를 위해서 대상지구를 선정하고 지리정보시스템을 구축하여 구조물 이력 DB 및 호환 프로그램 개발에 필요한 자료기반을 제공하고 D/B 호

환프로그램을 개발하여 농업구조물의 이력관리와 개발프로그램간에 호환성을 높일 수 있도록 하였다

### 3. 농업구조물 안전진단 및 보수·보강, 신설대책 수립 시스템 개발

- 일반적인 구조물들의 현장 조사 방법을 정리 검토하여 농업구조물의 진단에 필수적인 조사내용을 도출 하였다.
- 구조물별, 조사내용 표기방법, 부위별 상세한 결함 및 결함의 고유번호, 점수 체계와 판정 Rule을 개발하였다.
- 다양한 파괴 비파괴 조사방법에 대하여 정리하고 농업구조물에 활용도가 높은 방법의 Data Reduction 방법에 대하여 설명하였다.

### 4. 보수보강 DB 및 최적 공법 선정 실험

- 구조별 혹은 부재별로 손상 및 노후화 형태에 따른 210여개의 보수·보강 공법을 수집, 분석 개량하여 다양한 농업구조물의 부재별 손상 및 노후화 형태에 따라 적절한 보수·보강 공법을 선택 할 수 있게 DB체계를 구축하였다.
- 수리구조물에 많이 사용되는 다양한 보수재료에 대하여 성능 평가 시험을 실시하여 공법선정의 가이드를 제시하였다.
- 균열을 발생시킨 보에 보강공법을 적용하여 평가실험을 수행하였다.

### 5 System 개발 및 현장 적용

- 구조물별, 조사내용 표기방법, 부위별 상세한 결함 및 결함의 고유번호, 점수 체계와 판정 Rule을 이용하여 농업 구조물 안전진단 및 보수·보강, 신설 대책 수립 시스템을 개발하였다.
- 개발된 시스템을 소규모 농로교, 수로교 및 배수로 콘크리트 구조에 적용하여 신뢰성과 타당성을 확인하였다.
- 농로교에 대하여 안전진단 및 대책 결정 시스템(SAD : System for Appraisal and Decision) 을 통한 진단외에 정밀안전 진단을 실시하여 내하능력을 향상시키기 위하여 교량 상부를 3개의 H-Beam(H200x200x4x4)으로 보강하고 재하시험을 통하여 보강효과를 확인하였다.

## 참 고 문 헌

1. ACI, Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures, 1993.
2. ACI, Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation, 1994.
3. ACI, Repair and Rehabilitation of Concrete Structures, 1989.
4. Adamu, A. and Kalihaloo, B. L.(1995), Minimum cost design of RC beams with segmentation using continuum-type optimality criteria, Structural Optimization 9, 220 - 235.
5. Adamu, A. and Kalihaloo, B. L.(1995), Minimum cost design of RC frames using the DCOC method, Part I : Columns under uniaxial bending action, Structural Optimization 10, 16 - 32.
6. Adamu, A. and Kalihaloo, B. L.(1995), Minimum cost design of RC frames using the DCOC method, Part II : Columns under biaxial bending action, Structural Optimization 10, 33 - 39.
7. A.J Aisenbrey, Jr., Design of Small Canal Structures, United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1978.
8. Allen, D.E. Safety criteria for the evaluation of existing structures. IABSE Colloquium on Remaining Structural Capacity. Copenhagen 1993.
9. Al-Harthy, A. S. and Frangopol, D. M.(1994), Reliability-Based Design of Prestressed Concrete Beams, J. Struct. Engrg., ASCE, 120(11), 3156 - 3177.
10. Andrew B Templeman, Civil Engineering Systems, Kluwer Academic Publishers, 1982.
11. ASCE, Repair and Rehabilitation of Reinforced Concrete Structures: The State

of the Art, 1997.

12. Botkin, M. E., Shape Optimization with Stress and Buckling Constraints, Proceedings of 5th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, 375 - 383.
13. Chon, M. Z. and Dinovitzer(1994), Application of Structural Optimization, J. Struct. Engrg., ASCE, 120(2), 617 - 650.
14. Cohn, M. Z. and Lounis, Z.(1993), Optimum Limit Design of Continuous Prestressed Concrete Beams, J. Struct. Engrg., ASCE, 119(12), 3551 - 3569.
15. Cohn, M. Z. and Lounis, Z.(1994), Optimal Design of Structural Concrete Bridge Systems, J. Struct. Engrg., ASCE, 120(9), 2653 - 2674.
16. DOT user's Manual, VR&D, 1999.
17. Edward J. Haug and Jasbir S. Arora, Applied Optimal Design, John Wiley & Sons, 1979.
18. Emmons, P.H. and Vaysburd. A.M. Factors affecting durability of concrete repair. Structural Faults and Repair 93. Edinburgh. UK 1993
19. ENR(1994). Korea Checks its Bridges. In: Engineering News Records. 233(18). pp.9.
20. Fang, H., Azarm, S. and Bernold, L.(1994), Multilevel Multiobjective Optimization in Precast Concrete Wall Panel Design, Engineering Optimization, 22, 291 - 322.
21. FHWA: Federal Highway Administration(1988). Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges. Report No. FHWAED-89-044, prepared by Office of Engineering, Bridge Division, U.S. Department of Transportation. Washington. 77p.
22. Gastal, F.P.S.L.; Silva Filho, L.C.P.; Klein, D.L.; Campagnolo, J.L. (1995) A

Method to Evaluate Deterioration of Existing Structures. In: 4<sup>th</sup> International Conference on Inspection Appraisal, Repair and Maintenance of Buildings and Structures. March, Hong Kong.

23. GENESIS User's Manual, VMA Engineering, Colorado Springs, CO, 1999.
24. Golabi, K.; Thompson, P. (1992). PONTIS Executive Summary, Technical Manual and User's Manual: A Network Optimization Systems for Bridge Improvements and Maintenance. Report prepared for the Federal Highway Administration.
25. G.V. Reklaities, A. Ravindran & Ragsdell K.M., Engineering Optimization, John Wiley and Sons, 198
26. Hammond, R. (1956). Engineerings Structural failures: The causes and results of failure in modern structures of vario
27. Harold Thomas (1996), Optimization of Structures Designed Using Nonlinear FEM Analysis, Proceedings of 7th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, 604 - 608.
28. Hawkins, M.R. (Chairman). "ASR-Minimising the Risk of Damage to Concrete - Guidance Notes and Model Specification Clauses" Concrete Society TR30, 1987.
29. Kirsch, U., Reiss, M., and Shamir, U., Optimum Design by Partitioning into Substructures", Journal of the Structural Engineering, ASCE, Vol. 98, No. 1, Jan. 1972, PP. 249-261.
30. Lourenco, P. B. and Figueiras, J. A. (1995), Solution for the Design of Reinforced Concrete Plates and Shells, J. Struct. Engrg., ASCE, 121(5), 815 - 823.
31. Moharrami, H. and Grierson, D. E. (1993), Computer-Automated Design of Reinforced Concrete Frameworks, J. Struct. Engrg., ASCE, 119(7), 2036 - 2058.
32. Peter H. Emmons, Concrete Repair and Maintenance Illustrated, R.S. Means

Company, INC, 1994.

33. Raphael T Haftka and Zafer Gurdal, Element of Structural Optimizatin, Kluwer Academic Publishers, 1992.
34. Salajegh, E. and Vanderplaats, G. N. (1992), Efficient Optimum Design of Structures with Discrete Design Variables, (in Press, Int. Journal of the Space Structures).
35. Schmit, L. A. (1960), Structural Design by Systematic Synthesis, Proc. 2nd Conference on Electronic Computation, ASCE, New York, 105-122.
36. Schmit, L. A. Jr., and Chang, K. J., "A Multilevel Method for Structural Synthesis", Proceedings of AIAA/ASME/ASCE/AHS 25th Structures, Structural Dynamics and Material Conference, Plam Spring, California, May 14-16, 1984.
37. Sobieszczanski-Sobieski, J., James, B. and Davi, A., "Structural Optimization by Multilevel Decomposition", AIAA, Vol. 23, Nov., 1985, PP. 1775-1782.
38. S. S. Rao, Engineering Optimization, John Wiley & Sons, Inc, 1996.
39. Vanderplaats, G. N. (1982), Structural Optimization, Past, Present and Future, AIAA Journal, Vol. 20, No. 7, 992-1000.
40. Vanderplaats, G. N. (1984), Numerical Optimization Techniques for Engineering Design, McGRAW-HILL, New York.
41. Vanderplaats, G. N. (1993), Thirty years of modern structural optimization, Advances in Engineering Software 16, 81 - 88.
42. Vanderplaats, G. N., Yang, Y. J. and Kim, D. S., "Sequential Linearization Method for Multilevel Optimization", AIAA Journal, Vol. 28, No. 2, 1989.
43. Visual DOC Reference Manual, VR&D, 1998.
44. White, K. H. A performance approach to design, taken from The Design Life of

Structures e.d G Sommerville Blackic. UK 1992

45. 건설교통부, 교량 유지관리 지침, 건설정보사, 1995.
46. 건설교통부, 교량구조물의 보수·보강공법 편람, 1995.
47. 건설교통부, (일본)도로교 보수편람, 1995.
48. 건설교통부·한국건설기술연구원, 교량 점검자를 위한 교육 교재, 건설도서, 1995.
49. 건설도서 편집부, 직접기초 및 교대·교각구체의 설계계산 예, 건설도서, 1999.
50. 건설도서 편집부, RC교의 설계계산 예, 건설도서, 1995.
51. 건설부, 철근콘크리트 설계편람(I·II), 기문당, 1991.
52. 건설연구사 편집부, 표준설계도집 하, 건설연구사, 1997.
53. 김생빈, 토목구조물 설계, 기문당, 1994.
54. 김수만·박영기, 토목구조설계, 청문각, 1997.
55. 김우석, 구조역학, 형설출판사, 1981.
56. 김종욱(1987), 철근콘크리트 원통형 셸구조물의 최적설계, 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
57. 김종욱(1994), 단순강판형 단면의 최적설계를 위한 효율적인 비선형 계획기법, 한국농공학회지, Vol.36, No.2, PP.111-122.
58. 김종욱(1994), 프리스트레스트 콘크리트 합성거더의 최적설계, 공주대학교 생산 기술 연구소 논문집 제2집, 1994, PP.185-198.
59. 김종욱(1995), Minimum Weight Design of Steel Bridge Girders Using Approximation Based Optimization Method, Proceedings of WCSMO PP.

60. 김종옥(1995), 캔틸레버 옹벽의 최적설계, 한국농공학회지, Vol.37, No.1, PP 90-99.
61. 김해인 외 3인, 일선 실무자를 위한 교량 유지보수 요령, 건설부, 1998.
62. 농림부·농업기반공사, 수리시설 개·보수공법 지침, 한빛인쇄주식회사, 1999.
63. 농림수산부, 농업기반시설 안전점검 요령, 1995.
64. 농림수산부, 농업기반시설 관리규정, 1995.
65. 농림수산부, 농지개량사업 계획 설계기준 수로공편, 삼보문화사, 1988.
66. 농수산부, 농지개량사업 계획설계기준 수로공편, 서울산업사, 1974.
67. 농수산부·농업진흥공사, 농지개량사업 표준설계(해설) 옹벽·널말쪽편, 서울예문사, 1984.
68. 농수산부·농업진흥공사, 농지개량사업 표준설계(해설) 터널편, 진명사, 1984.
69. 농수산부·농업진흥공사, 농지개량사업 표준설계(도면) 터널편, 한일문화인쇄 1984.
70. 농업진흥공사, 농지개량사업 표준설계(해설) 교량편, 서울산업사, 1985.
71. 농업진흥공사, 수로구조물 호형도, 농업진흥공사, 1982.
72. 농어촌진흥공사 농어촌 연구원, 농업토목 구조물 설계 자동화(CAD)시스템 개발(Ⅲ), 농어촌 진흥공사 농어촌 연구원, 1997.
73. 농지개량조합연합회, 수리시설물 개·보수 편람, 1998.
74. 대한주택공사, 철근콘크리트 배근 지침에 관한 연구, 대한주택공사, 1990.
75. 류연선 외 2인 공역, 최적설계입문, 반도출판사, 1994.

76. 박송배, FORTRAN 프로그래밍 입문, 1992.
77. 박송범 · 송기범, 최신토목설계, 형설출판사, 1995.
78. 박송범 외 8인, 콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단, 한국콘크리트학회 1994.
79. 변동균, 신현득, 문제길, 철근콘크리트, 동명사, 1998.
80. 신경재 · 이도범 공역, 콘크리트 구조물의 진단과 보수, 건설도서, 1997.
81. 심종성, 철근콘크리트 구조설계, 구미서관, 1998.
82. 오무영, 철근콘크리트공학, 동명사, 1999.
83. 이근후 외 4인, 수리시설물 개 · 보수 편람, 농지개량조합연합회, 1999.
84. 이종득, 콘크리트 구조물의 조기열화 내구성진단, 1995
85. 일본건축학회, 철근콘크리트 건축물의 내구성 조사 · 진단 및 보수지침(안), 1997
86. 전조연, 토목구조물 표준설계도집 웅벽편, 건설도서, 1995.
87. 조효남, 구조역학, 구미서관, 1998.
88. 진달복, FORTRAN 77 프로그래밍, 청문각, 1998.
89. 한국도로교통협회, 도로교 설계기준, 도서출판 건설정보, 2000.
90. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 기문당, 1999.
91. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서, 기문당, 1999.

여 백

## 부록 I. 농업구조물의 최적설계 프로그램 코드

여 백

```

-----
OPTIMUM DESIGN OF REINFORCED CONCRETE RETAINING WALL
PROGRAM : RRETN.F
PROGRAMMER : KIM, JONG OK
UNIT : KG, CM, KG/CU.CM , KG/SQ.CM
-----
      DIMENSION X(13),XL(13),XU(13),G(30),WK(4000),IWK(1500),
      *RPRM(20),IPRM(20)
C   DEFINE NRWK,NRIWK
C   NRWK=4000
C   NRIWK=1500
C   DEFINE METHOD,NDV,NCON
C   METHOD=1
C   13 DESIGN VARIABLES
C   NDV=13
C   27 CONSTRAINTS
C   NCON=27
C   STARTING POINT
C   DESCRIPTION OF DESIGN VARIABLES
C   X(1) : THICKNESS OF WALL AT TOP (CM)
C   X(2) : THICKNESS OF WALL AT BOTTOM (CM)
C   X(3) : LENGTH OF TOE (CM)
C   X(4) : LENGTH OF HEEL (CM)
C   X(5) : MINIMUM THICKNESS OF HEEL (CM)
C   X(6) : MAXIMUM THICKNESS OF TOE OR HEEL (CM)
C   X(7) : MINIMUM THICKNESS OF TOE (CM)
C   X(8) : MAIN STEEL AREA IN WALL PER METER AT FIRST STEP
C   X(9) : MAIN STEEL AREA IN WALL PER METER AT SECOND STEP
C   X(10) : MAIN STEEL AREA IN WALL PER METER AT THIRD STEP
C   X(11) : MAIN STEEL AREA IN WALL PER METER AT BOTTOM STEP
C   X(12) : TOP STEEL AREA IN FOOTING PER METER
C   X(13) : BOTTOM STEEL AREA IN FOOTING PER METER
C   *** INPUT INITIAL DESIGN VARIABLES ***
      X(1)=35.0
      X(2)=75.0
      X(3)=100.0
      X(4)=330.0
      X(5)=35.0
      X(6)=40.0
      X(7)=57.0
      X(8)=20.268
      X(9)=20.268
      X(10)=15.201
      X(11)=15.201
      X(12)=64.24
      X(13)=9.93
C   DESIGN BOUNDS
C   LOWER BOUNDS
      XL(1)=20.0
      XL(2)=20.0
      XL(3)=20.0
      XL(4)=20.0
      XL(5)=15.0
      XL(6)=15.0
      XL(7)=15.0
      XL(8)=0.8E-1
      XL(9)=0.8E-1
      XL(10)=0.8E-1
      XL(11)=0.8E-1
      XL(12)=0.8E-1
      XL(13)=0.8E-1
C   UPPER BOUNDS
      XU(1)=500.0
      XU(2)=500.0
      XU(3)=1000.0
      XU(4)=2000.0
      XU(5)=500.0
      XU(6)=500.0
      XU(7)=500.0
      XU(8)=200.0
      XU(9)=200.0
      XU(10)=200.0
      XU(11)=200.0
      XU(12)=200.0
      XU(13)=200.0
C   DEFINE IPRINT,MINMAX,INFO
C   PRINT CONTROL
C   IPRINT=3
C   MINIMIZE
C   MINMAX= 1
C   INITIALIZE INFO TO ZERO
C   INFO=0
C   OPTIMIZE
C   ZERO RPRM AND IPRM
C   DO 10 I=1,20
C   RPRM(I)=0.0
C   IPRM(I)=0
10
100 CALL DOT(INFO,METHOD,IPRINT,NDV,NCON,X,XL,XU,
      *OBJ,MINMAX,G,RPRM,IPRM,WK,NRWK,IWK,NRIWK)
C   FINISHED ?
C   IF(INFO.EQ.0)GO TO 1000
C   EVALUATE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS

```

```

C   CALL EVAL(OBJ,X,G,TOTHT,UPLOAD,SOILWT,FAIDEG,FRICCO,ALLSUP)
C   GO CONTINUE WITH OPTIMIZATION.
C   GO TO 100
1000 CONTINUE
C   WRITE(6,91)TOTHT
C   WRITE(6,92)UPLOAD
C   WRITE(6,93)SOILWT
C   WRITE(6,94)FAIDEG
C   WRITE(6,95)FRICCO
C   WRITE(6,96)ALLSUP
91  FORMAT(///,6X,'TOTAL HEIGHT OF RETAINING WALL H='F12.5,2X,'CM')
92  FORMAT(6X,'UPPER LOAD ON THE EARTH SURFACE QS='F12.5,2X,
      *'KG/SQ.CM')
93  FORMAT(6X,'UNIT WEIGHT OF SOIL '11X,' W='F12.5,2X,'KG/CU.CM')
94  FORMAT(6X,'INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL FI='F12.5,2X,'DEGREE')
95  FORMAT(6X,'FRICTION COEFFICIENT BETWEEN FOOTING AND BASE='F12.5,
96  FORMAT(6X,'ALLOWABLE BEARING OF GROUND='F12.5,2X,'KG/SQ.CM')
C   STOP
C   END
C   SUBROUTINE EVAL(OBJ,X,G,TOTHT,UPLOAD,SOILWT,FAIDEG,FRICCO,ALLSUP)
C   DIMENSION X(13),G(30),WV(10),WARM(10),RESMOM(10),Y(10),
      *EFFSTM(10),PP(10),FAMN(10),DEMOME(10),DESHER(10),DEPTH(10),
      *PIVNST(10),ASMINW(10),ASMAXW(10)
C   *****
C   # PARAMETERS #
C   *****
C   *** INPUT THE VALUES OF PARAMETERS ***
C   TOTAL HEIGHT OF RETAINING WALL
C   TOTHT=700.0
C   UPPER LOAD ON THE EARTH SURFACE
C   UPLOAD=0.0
C   UNIT WEIGHT OF SOIL
C   SOILWT=18E-3
C   UNIT WEIGHT OF CONCRETE
C   CONCWT=2.5E-3
C   INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL (UNIT : DEGREE)
C   FAIDEG=30.0
C   FRICTION COEFFICIENT BETWEEN FOOTING AND BASE
C   FRICCO=0.5
C   DESIGN STRENGTH OF CONCRETE
C   SIGMCK=210.0
C   YIELDING STRENGTH OF REINFORCING STEEL
C   SIGMAY=3000.0
C   INDEX FOR THE SELECTION OF SOIL PRESSURE COEFFICIENT FORMULA
C   IF INDFOR=1 ; RANKINE FORMULA
C   IF INDFOR=2 ; COULOMB FORMULA
C   *** PLEASE SELECT THE SOIL PRESSURE FORMULA ***
C   INDFOR=1
C   GRADIENT OF EARTH SURFACE(DEGREE)
C   DEALPA=0.0
C   ANGLE BETWEEN VERTICAL LINE AND BACK SURFACE OF WALL(DEGREE)
C   DTHETA=0.0
C   FRICTION ANGLE BETWEEN SOIL AND BACK SURFACE OF WALL(DEGREE)
C   DDELTA=25.0
C   SAFETY FACTOR FOR OVERTURNING
C   SAFEOV=2.0
C   SAFETY FACTOR FOR SLIDING
C   SAFESI=1.5
C   ALLOWABLE BEARING OF GROUND
C   ALLSUP=3.0
C   CONCRETE COVER THICKNESS OF WALL
C   COVSTM=5.0
C   CONCRETE COVER THICKNESS OF HEEL
C   COVHEL=5.0
C   CONCRETE COVER THICKNESS OF TOE
C   COVTOE=8.0
C   DIAMETER OF REINFORCING STEEL TO CALCULATE CONCRETE COVER
C   (UNIT:CM)
C   DIAMETER=2.54
C   STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR FLEXURE
C   FAIM=0.85
C   STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR SHEAR
C   FAIS=0.8
C   *** FOR OBJECTIVE FUNCTION ***
C   REFERENCES : THE INFORMATION ON COMMODITY PRICE (THE FIRST AND
      C SECOND BOOK), FEBRUARY, 1998.
C   UNIT PRICE OF CONCRETE, REINFORCING STEEL AND FORM WORKS
C   CONCRETE : MATERIAL : 62,010 WON/CU.METER
C   LABOR EXPENSES : 23,044 WON/CU.METER
C   TOTAL : 85,054 WON/CU.METER
C   REINFORCING STEEL : MATERIAL : 369,577 WON/TON
C   LABOR EXPENSES : 384,375 WON/TON
C   TOTAL : 753,952 WON/TON
C   FORM WORKS : MATERIAL : 5,908 WON/SQ.METER
C   LABOR EXPENSES : 19,215 WON/SQ.METER
C   TOTAL : 25,124 WON/SQ.METER
C   PARAMETERS FOR UNIT PRICE
C   *** PLEASE INPUT THE UNIT PRICES OF MATERIAL AND LABOR ***
C   UNICON=85054.0
C   UNISL=763952.0
C   UNIFOM=25124.0
C   UNIT WEIGHT OF REINFORCING STEEL
C   UNIT WEIGHT OF STEEL = 0.0078546 KG/CU.CM
C   = 7854.6 KG/CU.METER
C   = 7.8546 TON/CU.METER

```

```

C
C STELW7*7.8546
C
C *****
C = THE END OF PARAMETERS =
C *****
C
C THE RATIO OF THE CIRCUMFERENCE OF A CIRCLE TO ITS DIAMETER
C PAI=3.14159
C UNIT TRANSPOSITION FROM DEGREE TO RADIAN
C UNITRA=PAI/180.0
C INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL (UNIT : RADIAN)
C FAIRAD=FAIDEG*UNITRA
C GRADIENT OF EARTH SURFACE(UNIT : RADIAN)
C ALPA=UNITRA*DELPA
C ANGLE BETWEEN VERTICAL LINE AND BACK SURFACE OF WALL(UNIT :
C RADIAN)
C THETA=UNITRA*DTHTA
C FRICTION ANGLE BETWEEN SOIL AND BACK SURFACE OF WALL(UNIT :
C RADIAN)
C DELTA=UNITRA*DDELTA
C UNIT TRANSPOSITION FROM METER TO CENTMETER (1M=100.0CM)
C WIDTH=100.0
C
C *** OBJECTIVE FUNCTION ***
C
C OBJ=(X(1)-X(2))*(TOTHTH-X(6))/2.0*(X(6)+X(2)-X(1))+X(4)/2.0
C +X(6)-X(7)+X(3)/2.0*UNICON/10000.0
C +((X(8)+X(9)-X(10)-X(11))*(TOTHTH-X(6))/4.0*X(11)+X(6)
C +X(13)+X(2)-X(3)+X(4)+X(12)
C +X(2)*SQRT(X(6)-X(5))+2*X(4)+2)*SQRT(X(6)-X(7))+2-X(3)+2
C +1)*100000.0+STELWT*UNISTL
C +((TOTHTH-X(6))*2.0*X(5)-X(7)/100.0)*UNIFOM
C
C CALCULATION OF SOIL PRESSURE COEFFICIENT
C
C IF(INDFOR=2) GO TO 100
C
C IF INDFOR=1 : RANKINE FORMULA
C
C RANKINE FORMULA
C
C ROOTN=COS(ALPA)**2-COS(FAIRAD)**2
C ROOT=SQRT(ROOTN)
C ABOVE=COS(ALPA)*ROOT
C UNDER=COS(ALPA)-ROOT
C SOPRKA=COS(ALPA)*ABOVE/UNDER
C GO TO 200
C 100 CONTINUE
C
C IF INDFOR=2 : COULOMB FORMULA
C
C COULOMB FORMULA
C
C ROOABO=SIN(FAIRAD-DELTA)*SIN(FAIRAD-ALPA)
C ROOUND=COS(THETA-DELTA)*COS(THETA-ALPA)
C GWALN=1.0-ROOABO/ROOUND
C UNDER=(COS(THETA)**2)*COS(THETA-DELTA)+GWALN**2
C ABOVE=COS(FAIRAD-THETA)**2
C SOPRKA=ABOVE/UNDER
C 200 CONTINUE
C
C SOPRKA : SOIL PRESSURE COEFFICIENT (KA)
C
C HORIZONTAL SOIL PRESSURE AND POINT OF APPLICATION
C
C PH=PAH*PSH
C
C PH=SOPRKA*(0.5*SOILWT*TOTHTH**2-UPLOAD*TOTHTH)*WIDTH
C YI=SOPRKA*(SOILWT*TOTHTH**3/6.0-0.5*UPLOAD*TOTHTH**2)+WIDTH*PH
C OVMOME=PH*YI
C
C LOADS AND POINTS OF APPLICATION
C
C LOADS
C
C WV(1)=X(1)*(TOTHTH-X(6))*WIDTH*CONCWT
C WV(2)=(X(2)-X(1))*(TOTHTH-X(6))*WIDTH*CONCWT/2.0
C WV(3)=(X(2)-X(3)-X(4))*X(6)*WIDTH*CONCWT
C WV(4)=(SOILWT*(TOTHTH-X(6))+UPLOAD)*X(4)*WIDTH
C WV(5)=(-1.0)*(X(6)-X(7))*X(3)*WIDTH*CONCWT/2.0
C WV(6)=(-1.0)*(X(6)-X(5))*X(4)*WIDTH*(CONCWT-SOILWT)/2.0
C
C THE LENGTHS OF ARM
C
C WARM(1)=X(3)-X(2)-X(1)/2.0
C WARM(2)=X(3)-2.0*X(2)-X(1)/3.0
C WARM(3)=X(2)-X(3)-X(4)/2.0
C WARM(4)=X(3)-X(2)-X(4)/2.0
C WARM(5)=X(3)/3.0
C WARM(6)=X(3)-X(2)-2.0*X(4)/3.0
C
C SUM OF THE SELF WEIGHT AND RESISTING MOMENT
C
C SUMWET=0.0
C SUMMOM=0.0
C DO 10 I=1,6
C RESMGM(I)=WV(I)+WARM(I)
C SUMWET=SUMWET+WV(I)
C SUMMOM=SUMMOM-RESMGM(I)
C 10 CONTINUE
C
C CHECK THE OVERTURNING
C
C FSOVTN=SUMMOM/OVMOME
C CONSTRAINT FOR OVERTURNING
C G(1)=(SAFEV-FSOVTN)/ABS(SAFEV)
C
C CHECK THE SLIDING
C
C RESSL=FRICCO*SUMWET
C SFSLD=RESSL/PH
C CONSTRAINT FOR SLIDING
C G(2)=(SAFEV-SFSLD)/ABS(SAFEV)
C
C CHECK THE SETTLEMENT
C
C CONSTRAINT FOR THE APPLICATION POINT OF TOTAL FORCE
C
C ABOMOM=SUMMOM/OVMOME
C DISTNR=ABOMOM/SUMWET
C B=X(2)-X(3)-X(4)
C HALFB=B/6.0
C EALLOW=B/6.0
C REALLOW=(-1.0)*EALLOW
C ECENTR=HALFB-DISTNR
C
C CONSTRAINTS FOR THE ECCENTRIC DISTANCE OF TOTAL FORCE
C
C IF(EALLOW.EQ.0.0)EALLOW=0.001
C IF(REALLOW.EQ.0.0)REALLOW=0.001
C G(3)=(ECENTR-EALLOW)/ABS(EALLOW)
C G(4)=(REALLOW-ECENTR)/ABS(REALLOW)
C
C MAXIMUM REACTION OF FOOTING
C
C PMAX=SUMWET*(1.0-6.0*ECENTR/B)/B/WIDTH
C PMIN=SUMWET*(1.0+6.0*ECENTR/B)/B/WIDTH
C
C CONSTRAINT FOR THE ALLOWABLE BEARING OF BASE
C
C G(5)=(PMAX-ALLSUP)/ABS(ALLSUP)
C
C DESIGN OF FRONTAL WALL
C
C CALCULATION OF DESIGN MOMENT AND SHEAR FORCE
C
C WALHIT=TOTHTH-X(6)
C Y(1)=WALHIT
C QUARTR=WALHIT/4.0
C Y(2)=3.0*QUARTR
C Y(3)=2.0*QUARTR
C Y(4)=QUARTR
C
C DO 20 I=1,4
C DEMOME(I)=(SOPRKA*SOILWT*WIDTH*Y(I)**3/6.0-SOPRKA*
C *UPLOAD*Y(I)**2+WIDTH/2.0)*1.8
C
C DESHER(I)=(SOPRKA*SOILWT*Y(I)**2+WIDTH/6.0-SOPRKA*
C *UPLOAD*(Y(I)+WIDTH)/1.8)
C 20 CONTINUE
C
C CHECK THE WALL THICKNESS AND REINFORCEMENT
C
C EFFECTIVE THICKNESS OF WALL AT EACH PART
C
C EFFSTM(1)=X(2)-COVSTM-DIAMETER/2.0
C WALGRD=(X(2)-X(1))/WALHIT
C SECNDP=3.0*WALHIT/4.0
C THIRDP=WALHIT/2.0
C FOURDP=WALHIT/4.0
C SECTHI=X(1)-WALGRD-SECNDP
C THRTHI=X(1)-WALGRD-THIRDP
C FOUTH=X(1)-WALGRD-FOURDP
C EFFSTM(2)=SECTHI-COVSTM-DIAMETER/2.0
C EFFSTM(3)=THRTHI-COVSTM-DIAMETER/2.0
C EFFSTM(4)=FOUTH-COVSTM-DIAMETER/2.0
C
C STEEL RATIO AND NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
C
C STEEL RATIO
C
C PP(1)=X(1)/WIDTH/EFFSTM(1)
C PP(2)=X(10)/WIDTH/EFFSTM(2)
C PP(3)=X(9)/WIDTH/EFFSTM(3)
C PP(4)=X(8)/WIDTH/EFFSTM(4)
C
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
C DO 30 I=1,4
C FAIMN(I)=FAIM*PP(I)*SIGMAX*WIDTH+EFFSTM(I)**2*
C *(1.0-0.59*PP(I)*SIGMAY/SIGMCK)
C 30 CONTINUE
C
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH
C
C DO 35 I=1,4
C IF(FAIMN(I).EQ.0.0)FAIMN(I)=0.001
C 35 CONTINUE
C
C G(6)=(DEMOME(1)-FAIMN(1))/ABS(FAIMN(1))
C G(7)=(DEMOME(2)-FAIMN(2))/ABS(FAIMN(2))
C G(8)=(DEMOME(3)-FAIMN(3))/ABS(FAIMN(3))
C G(9)=(DEMOME(4)-FAIMN(4))/ABS(FAIMN(4))
C
C CONSTRAINT FOR SHEAR IN WALL
C
C EFFECTIVE DEPTH AT CRITICAL SECTION
C
C DEPTH(1)=X(2)-COVSTM-DIAMETER/2.0
C HAPSTM=WALHIT/2.0
C HAFTHI=X(1)-WALGRD-HAPSTM
C DEPTH(2)=HAFTHI-COVSTM-DIAMETER/2.0
C CRLEN=WALHIT-EFFSTM(1)
C CRTHI=X(1)-WALGRD-CRLEN
C DEPTH(3)=CRTHI-COVSTM-DIAMETER/2.0
C
C DO 40 I=1,3
C PIVNST(I)=0.53*FAIS*SQRT(SIGMCK)*WIDTH*DEPTH(I)
C 40 CONTINUE
C
C DO 45 I=1,3
C IF(PIVNST(I).EQ.0.0)PIVNST(I)=0.001
C 45 CONTINUE
C
C G(10)=(DESHER(1)-PIVNST(1))/ABS(PIVNST(1))
C G(11)=(DESHER(2)-PIVNST(2))/ABS(PIVNST(2))
C G(12)=(DESHER(3)-PIVNST(3))/ABS(PIVNST(3))
C
C DESIGN OF HEEL
C
C CALCULATION OF DESIGN MOMENT AND DESIGN SHEAR FORCE
C
C CONVOL=(X(5)-X(6))*X(4)+WIDTH/2.0
C SOLVOL=(WALHIT-(X(6)-X(5))/2.0)*X(4)+WIDTH
C QUH=1.5*(CONCWT*CONVOL-SOILWT*SOLVOL)/X(4)/WIDTH-UPLOAD
C DESIGN MOMENT IN HEEL

```

```

C DEMOHL=QUH*X(4)**2*WIDTH/2.0
C DESIGN SHEAR FORCE IN HEEL
  DESHHL=QUH*X(4)*WIDTH
C EFFECTIVE DEPTH OF HEEL
  EFFHEL=X(6)-COVHEL-DIAMETER/2.0
C STEEL RATIO IN HEEL
  PHEL=X(12)/WIDTH/EFFHEL
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
  FAIMHL=FAJM*PHEL*SIGMAY*WIDTH*EFFHEL**2*(1.0-0.59*PHEL*
  *SIGMAY/SIGMCK)
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH IN HEEL
  IF(FAIMHL.EQ.0.0)FAIMHL=0.001
  G(13)=(DEMOHL-FAIMHL)/ABS(FAIMHL)
C CONSTRAINTS FOR SHEAR FORCE IN HEEL
  PIVNHL=0.53*FAIS*SQRT(SIGMCK)*WIDTH*EFFHEL
  IF(PIVNHL.EQ.0.0)PIVNHL=0.001
  G(14)=(DESHHL-PIVNHL)/ABS(PIVNHL)
C DESIGN OF TOE
  QT=(PMAX-PMIN)*(B-X(3))/B-PMIN
C DESIGN MOMENT OF TOE
  DEMOTO=1.8*(0.5*QT*X(3)**2+(PMAX-QT)*X(3)**2/3.0)*WIDTH
C DESIGN SHEAR FORCE OF TOE
  DESHTO=1.8*(0.5*(PMAX-QT)*X(3)*WIDTH
C EFFECTIVE DEPTH OF TOE FOR FLEXURE
  EFFTOE=X(6)-COVTOE-DIAMETER/2.0
C STEEL RATIO OF TOE FOR FLEXURE
  PTOE=X(13)/WIDTH/EFFTOE
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH FOR TOE
  FAIMTO=FAJM*PTOE*SIGMAY*WIDTH*EFFTOE**2*(1.0-0.59*PTOE*
  *SIGMAY/SIGMCK)
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH IN TOE
  IF(FAIMTO.EQ.0.0)FAIMTO=0.001
  G(15)=(DEMOTO-FAIMTO)/ABS(FAIMTO)
C EFFECTIVE DEPTH OF TOE FOR SHEAR
  EFTOSH=X(6)-COVTOE-DIAMETER/2.0
C CONSTRAINTS FOR SHEAR FORCE IN TOE
  PIVNTO=0.53*FAIS*SQRT(SIGMCK)*WIDTH*EFTOSH
  IF(PIVNTO.EQ.0.0)PIVNTO=0.001
  G(16)=(DESHTO-PIVNTO)/ABS(PIVNTO)
C MINIMUM REINFORCING STEEL
C MINIMUM REINFORCING STEEL OF WALL
  DO 50 I=1,4
  ASMINW(I)=14.0*WIDTH*EFFSTM(I)/SIGMAY
  CONTINUE
C CONSTRAINTS FOR MINIMUM REINFORCING STEEL OF WALL
  DO 55 I=1,4
  IF(ASMINW(I).EQ.0.0)ASMINW(I)=0.001
  CONTINUE
  G(17)=(ASMINW(1)-X(11))/ABS(ASMINW(1))
  G(18)=(ASMINW(2)-X(10))/ABS(ASMINW(2))
  G(19)=(ASMINW(3)-X(9))/ABS(ASMINW(3))
  G(20)=(ASMINW(4)-X(8))/ABS(ASMINW(4))
C MINIMUM REINFORCING STEEL OF HEEL
  ASMINH=14.0*WIDTH*EFFHEL/SIGMAY
  IF(ASMINH.EQ.0.0)ASMINH=0.001
  G(21)=(ASMINH-X(12))/ABS(ASMINH)
C MINIMUM REINFORCING STEEL OF TOE
  ASMINT=14.0*WIDTH*EFFTOE/SIGMAY
  IF(ASMINT.EQ.0.0)ASMINT=0.001
  G(22)=(ASMINT-X(13))/ABS(ASMINT)
C MAXIMUM REINFORCING STEEL
C BALANCE STEEL RATIO
  PB=0.85*0.85*SIGMCK*6120.0/SIGMAY/(6120.0-SIGMAY)
  ASMXRA=0.75*PB
  DO 60 I=1,4
  ASMAXW(I)=ASMXRA*WIDTH*EFFSTM(I)
  CONTINUE
C CONSTRAINTS FOR MAXIMUM STEEL RATIO IN WALL
  DO 65 I=1,4
  IF(ASMAXW(I).EQ.0.0)ASMAXW(I)=0.001
  CONTINUE
  G(23)=(X(11)-ASMAXW(1))/ABS(ASMAXW(1))
  G(24)=(X(10)-ASMAXW(2))/ABS(ASMAXW(2))
  G(25)=(X(9)-ASMAXW(3))/ABS(ASMAXW(3))
  G(26)=(X(8)-ASMAXW(4))/ABS(ASMAXW(4))
  FOOTLM=TOEHT-0.001
  IF(FOOTLM.EQ.0.0)FOOTLM=0.001
  G(27)=(X(6)-FOOTLM)/ABS(FOOTLM)
C RETURN
  END

```

```

C -----
C OPTIMUM DESIGN OF REINFORCED CONCRETE SLAB BRIDGE
C PROGRAM : RSLAB.F
C PROGRAMMER : KIM, JONG OK
C UNIT : KG, CM, KG/CU.CM , KG/SQ.CM
C -----
C DIMENSION X(4),XL(4),XU(4),G(10),WK(4000),IWK(1500),
  *RPRM(20),IPRM(20)
C DEFINE NRWK,NRIWK
  NRWK=4000
  NRIWK=1500
C DEFINE METHOD,NDV,NCON
  METHOD=1
C 4 DESIGN VARIABLES
  NDV=4
C 7 CONSTRAINTS
  NCON=7
C STARTING POINT
C DESCRIPTION OF DESIGN VARIABLES
C X(1),X(2) : DIMENSION OF REINFORCED CONCRETE SECTION (CM)
C X(3) : AREA OF REINFORCING STEEL OF SLAB PER METER (SQ.CM/M)
C X(4) : AREA OF REINFORCING STEEL OF EDGE BEAM (SQ.CM)
C *** INPUT INITIAL DESIGN VARIABLES ***
  X(1)=25.0
  X(2)=33.78
  X(3)=33.78
  X(4)=20.268
C DESIGN BOUNDS
C LOWER BOUNDS
  XL(1)=25.0
  XL(2)=15.0
  XL(3)=0.0
  XU(4)=0.0
C UPPER BOUNDS
  XU(1)=500.0
  XU(2)=500.0
  XU(3)=500.0
  XU(4)=500.0
C DEFINE IPRINT,MINMAX,INFO
C PRINT CONTROL
  IPRINT=3
C MINIMIZE
  MINMAX=-1
C INITIALIZE INFO TO ZERO
  INFO=0
C OPTIMIZE
C ZERO RPRM AND IPRM
  DO 10 I=1,20
  RPRM(I)=0.0
  IPRM(I)=0
  10 CONTINUE
C 100 CALL DOT(INFO,METHOD,IPRINT,NDV,NCON,X,XL,XU,
  *OBJ,MINMAX,G,RPRM,IPRM,WK,NRWK,IWK,NRIWK)
C FINISHED ?
  IF(INFO.EQ.0)GO TO 1000
C EVALUATE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS.
  CALL EVAL(OBJ,X,G)
C GO CONTINUE WITH OPTIMIZATION.
  GO TO 100
  1000 CONTINUE
C STOP
  END
C SUBROUTINE EVAL(OBJ,X,G)
  DIMENSION X(4),G(7)
C *****
C # PARAMETERS #
C *****
C *** INPUT THE VALUES OF PARAMETERS ***
C SELECT DB-LOAD
C IF LOAD=1 : DB24, 2 : DB18, 3 : DB13.5
  LOAD=2
C PURE CLEAR SPAN (CM)
  PURSPN=450.0
C EFFECTIVE WIDTH OF BRIDGE (CM)
  EFFWID=790.0
C WEIGHT OF SURFACE (KG/SQ.M)
  WETSUR=13.0
C DESIGN CRITERION STRENGTH OF CONCRETE (KG/SQ.CM)
  SIGMCK=240.0
C YIELDING STRENGTH OF REINFORCING STEEL(KG/SQ.CM)
  SIGMAY=3000.0
C WIDTH OF EDGE BEAM (CM)
  WIDEBM=60.0
C UNIT WEIGHT OF CONCRETE (KG/CU.M)
  CONCWT=2500.0
C LOAD FACTOR

```

```

FACDED=1.3
FACLIV=2.13
C CONCRETE COVER THICKNESS OF SLAB
COVER=3.0
C DIAMETER OF REINFORCING STEEL TO CALCULATE EFFECTIVE
C THICKNESS (UNIT : CM)
DIAMETER=2.54
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR FLEXURE
FAIM=0.85
*** FOR OBJECTIVE FUNCTION ***
REFERENCES : THE INFORMATION ON COMMODITY PRICE(THE FIRST
AND SECOND BOOK,FEBRUARY,1998.
UNIT PRICE OF CONCRETE, REINFORCING STEEL AND FORM WORKS
CONCRETE : MATERIAL : 62,010 WON/CU.METER
LABOR EXPENSES : 23,044 WON/CU.METER
TOTAL : 85,054 WON/CU.METER
REINFORCING STEEL : MATERIAL : 369,577 WON/TON
LABOR EXPENSES : 394,375 WON/TON
TOTAL : 763,952 WON/TON
FORM WORKS : MATERIAL : 5,908 WON/SQ.METER
LABOR EXPENSES : 19,215 WON/SQ.METER
TOTAL : 25,124 WON/SQ.METER
PARAMETERS FOR UNIT PRICE
*** PLEASE INPUT THE UNIT PRICES OF MATERIAL AND LABOR ***
UNICON=85054.0
UNISTL=763952.0
UNIFOM=25124.0
UNIT WEIGHT OF REINFORCING STEEL
UNIT WEIGHT OF STEEL = 0.0078546 KG/CU.CM
= 7854.6 KG/CU.METER
= 7.8546 TON/CU.METER
STEL.WT=7.8546
*****
# THE END OF PARAMETERS #
*****
DB-LOAD
P24=9600.0
P18=7200.0
P13=5400.0
GO TO(100,200,300)LOAD
100 DBLOAD=P24
GO TO 400
200 DBLOAD=P18
GO TO 400
300 DBLOAD=P13
400 CONTINUE
C UNIT TRANSPOSITION FROM METER TO CENTIMETER(1M=100.0CM)
WIDTH=100.0
*** OBJECTIVE FUNCTION ***
OBJ=(X(1)-X(2))*WIDBEM+2.0-X(2)*(EFFWID)*PURSPN*UNICON/1000000.0
+-(X(3)*EFFWID/100.0*X(4)+2.0)*PURSPN*STELWT*UNISTL/1000000.0
+-(EFFWID*X(2)-WIDBEM*(X(1)-X(2))+2.0)*2.0*(EFFWID+2.0*WIDBEM+2.0)*
X(2)-4.0*X(1))*PURSPN*UNIFOM/10000.0
SPAN OF SLAB
SPAN=PURSPN-X(2)
CALCULATION OF MINIMUM THICKNESS OF SLAB
IF(SIGMAY.EQ.4000.0)GO TO 10
THMIN=SPAN*(0.4-SIGMAY/7000.0)/20.0
GO TO 20
10 THMIN=SPAN/20.0
20 CONTINUE
C CONSTRAINT FOR MINIMUM THICKNESS OF SLAB
G(1)=(THMIN-X(2))/ABS(THMIN)
BENDING MOMENT BY DEAD LOAD
LOAD COMBINATION AND LOAD FACTOR BY BRIDGE CODE
1.3D-2.15(L-1)
SELF WEIGHT OF SLAB (KG/SQ.M)
SELWET=CONCWT*X(2)/100.0
C TOTAL DEAD LOAD(KG/SQ.M)
TOTDL=SELWET+WETSUR
C FACTORED DEAD LOAD(KG/SQ.M)
FACLOD=FACDED*TOTDL
C BENDING MOMENT BY DEAD LOAD
C TRANSFERED DIMENSION OF SPAN (FROM CM TO M)
TRSPAN=SPAN/100.0
DEDMOM=FACLOD*TRSPAN**2/8.0
BENDING MOMENT BY LIVE LOAD
LIVE LOAD DISTRIBUTION WIDTH
IN CASE OF PARALLEL ARRANGEMENT OF REINFORCING STEEL
WITH VEHICLE DIRECTION
ELLWID=1.2-0.06*TRSPAN
IF(ELLWID.GT.2.1)ELLWID=2.1
C LOAD PER UNIT WIDTH OF SLAB
UNILOD=DBLOAD/ELLWID
C FACTORED LIVE LOAD MOMENT(KG-M)
FACMOL=FACLIV*UNILOD*TRSPAN/4.0
C IMPACT FACTOR
FACIMP=15.0/(40.0-TRSPAN)
IF(FACIMP.GT.0.3)FACIMP=0.3
C BENDING MOMENT BY IMPACT
FACMOL=FACIMP*FACMOL
C TOTAL BENDING MOMENT
TOTMOM=DEDMOM+FACMOL*FACMOI
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH
*** PART I : SLAB ***
C EFFECTIVE THICKNESS OF SLAB
EFFTH=X(2)-COVER-DIAMETER/2.0
C STEEL RATIO AND NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
C STEEL RATIO
PP=X(3)/WIDTH/EFFTH
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
FAIMN=FAIM*PP*SIGMAY*WIDTH*EFFTH**2*
*(1.0-0.59*PP*SIGMAY/SIGMCK)
C CONSTRAINT FOR FLEXURAL STRENGTH OF SLAB
TRTOTM-TOTMOM<100.0
IF(FAIMN.EQ.0.0)FAIMN=0.001
G(2)=(TRTOTM-FAIMN)/ABS(FAIMN)
C MINIMUM REINFORCING STEEL RATIO OF SLAB
PMIN=14.0/SIGMAY
C CONSTRAINT FOR MINIMUM STEEL RATIO
G(3)=(PMIN-PP)/ABS(PMIN)
C MAXIMUM REINFORCING STEEL
BALANCE STEEL RATIO
PB=0.85*0.85*SIGMCK/6120.0/SIGMAY/6120.0-SIGMAY)
PMAK=0.75-PB
C CONSTRAINT FOR MAXIMUM REINFORCING STEEL RATIO
G(4)=(PP-PMAK)/ABS(PMAK)
*** PART II : EDGE BEAM ***
EDGDEP=X(1)-X(2)
C SELF WEIGHT OF EDGE BEAM (KG/M)
SELWTB=CONCWT*WIDBEM*EDGDEP/10000.0
C FACTORED DEAD LOAD OF EDGE BEAM (KG/M)
FACLDB=FACDED*SELWTB
C BENDING MOMENT OF EDGE BEAM BY DEAD LOAD
DEDMMB=FACLDB*TRSPAN**2/8.0
C BENDING MOMENT OF EDGE BEAM BY LIVE LOAD
C ACCORDING TO TEXTBOOK (BYUN.SIN.MOON.DONGMYUNGSA)
P.383 M=0.10PL (KG-M/M)
BLVMMB=FACLIV*0.10*DBLOAD*TRSPAN
TOTMMB=DEDMMB+BLVMMB
C EFFECTIVE THICKNESS OF EDGE BEAM
EFFTHB=EDGDEP-COVER-DIAMETER/2.0
C STEEL RATIO OF EDGE BEAM
PPB=X(4)/WIDBEM/EFFTHB
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
FAIMNB=FAIM*PPB*SIGMAY*WIDBEM*EFFTHB**2*
*(1.0-0.59*PPB*SIGMAY/SIGMCK)
C CONSTRAINT FOR FLEXURAL STRENGTH OF EDGE BEAM
TRTMMB-TOTMMB<100.0
IF(FAIMNB.EQ.0.0)FAIMNB=0.001
G(5)=(TRTMMB-FAIMNB)/ABS(FAIMNB)
C CONSTRAINT FOR THE MINIMUM REINFORCING STEEL RATIO
C OF EDGE BEAM
G(6)=(PMIN-PPB)/ABS(PMIN)
C CONSTRAINT FOR THE MAXIMUM REINFORCING STEEL RATIO OF EDGE BEA
G(7)=(PPB-PMAK)/ABS(PMAK)
RETURN
END

```

타이틀 T형교

```

C
C-----
C
C OPTIMUM DESIGN OF REINFORCED CONCRETE T-BEAM BRIDGE
C PROGRAM : RDEAM.F
C PROGRAMMER : KIM, JONG OK
C UNIT : KG, CM, KG/CM, KG/SQ.CM, KG-CM
C-----
C DIMENSION X(13),XL(13),XU(13),G(30),WK(4000),IWK(1500),
C *RPRM(20),IPRM(20)
C DEFINE NRWK,NRIWK
C NRWK=4000
C NRIWK=1500
C DEFINE METHOD,NDV,NCON
C METHOD=1
C 12 DESIGN VARIABLES
C NDV=12
C 20 CONSTRAINTS
C NCON=20
C STARTING POINT
C DIScription OF DESIGN VARIABLES
C X(1) : THE THICKNESS OF SLAB AT SECTION A AND B (CM)
C X(2) : THE THICKNESS OF SLAB AT SECTION C (CM)
C X(3) : THE AREA OF REINFORCING STEEL OF SLAB PER METER
C AT SECTION A AND B (SQ.CM/M)
C X(4) : THE AREA OF REINFORCING STEEL OF SLAB PER METER
C AT SECTION C (SQ.CM/M)
C X(5) : THE HEIGHT OF GIRDER (CM)
C X(6) : THE WIDTH OF GIRDER (CM)
C X(7) : THE AREA OF REINFORCING STEEL OF OUTSIDE GIRDER (SQ.CM)
C X(8) : THE AREA OF REINFORCING STEEL OF INSIDE GIRDER (SQ.CM)
C X(9) : THE STEEL AREA OF OUTSIDE GIRDER PER STIRRUP (SQ.CM)
C X(10) : THE SPACE OF STIRRUP IN OUTSIDE GIRDER (CM)
C X(11) : THE STEEL AREA OF INSIDE GIRDER PER STIRRUP (SQ.CM)
C X(12) : THE SPACE OF STIRRUP IN INSIDE GIRDER (SQ.CM)
C *** INPUT INITIAL DESIGN VARIABLES ***
C X(1)=22.0
C X(2)=15.0
C X(3)=9.00
C X(4)=12.50
C X(5)=70.0
C X(6)=47.0
C X(7)=70.0
C X(8)=70.0
C X(9)=1.80
C X(10)=25.0
C X(11)=2.0
C X(12)=29.0
C DESIGN BOUNDS
C LOWER BOUNDS
C XL(1)=10.0
C XL(2)=10.0
C XL(3)=0.8E-1
C XL(4)=0.8E-1
C XL(5)=20.0
C XL(6)=46.0
C XL(7)=0.8E-1
C XL(8)=0.8E-1
C XL(9)=0.8E-1
C XL(10)=5.0
C XL(11)=0.2E-1
C XL(12)=5.0
C UPPER BOUNDS
C XU(1)=100.0
C XU(2)=100.0
C XU(3)=300.0
C XU(4)=300.0
C XU(5)=300.0
C XU(6)=300.0
C XU(7)=500.0
C XU(8)=500.0
C XU(9)=300.0
C XU(10)=300.0
C XU(11)=300.0
C XU(12)=300.0
C DEFINE IPRINT,MINMAX,INFO
C PRINT CONTROL
C IPRINT=3
C MINIMIZE
C MINMAX=-1
C INITIALIZE INFO TO ZERO
C INFO=0
C OPTIMIZE
C ZERO RPRM AND IPRM
C DO 15, I=1,20
C RPRM(I)=0
C IPRM(I)=0
15 CONTINUE
100 CALL DOT(INFO,METHOD,IPRINT,NDV,NCON,X,XL,XU,
C *OBJ,MINMAX,G,RPRM,IPRM,WK,NRWK,IWK,NRIWK)
C FINISHED ?
C IF(INFO.EQ.0)GO TO 1000
C EVALUATE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS.
C CALL EVAL(OBJ,X,G)

```

```

C GO CONTINUE WITH OPTIMIZATION.
C GO TO 100
1000 CONTINUE
C STOP
C END
C SUBROUTINE EVAL(OBJ,X,G)
C DIMENSION X(12),G(30),BENLIV(2),BENDE(2),
C *SHELIV(2),SHEDED(2)
C *****
C # PARAMETERS #
C *****
C *** INPUT THE VALUES OF PARAMETERS ***
C THE TYPE OF BRIDGE : SIMPLE T-BEAM BRIDGE
C THE LENGTH OF BRIDGE
C BRLEN=1364.0
C THE LENGTH OF GIRDER
C GIRLEN=1360.0
C SPAN OF BRIDGE
C SPAN=1300.0
C PURE WIDTH OF BRIDGE
C PURWID=750.0
C TOTAL WIDTH OF BRIDGE
C TOTWID=830.0
C WEIGHT OF SURFACE (KG/SQ.M)
C WETSUR=150.0
C DESIGN CRITERION STRENGTH OF CONCRETE (KG/SQ.CM)
C SIGMCK=240.0
C UNIT WEIGHT OF CONCRETE (KG/CM)
C CONCWT=2500.0
C PAVEMENT THICKNESS (CM)
C PAYTH=5.0
C YIELDING STRENGTH AND ALLOWABLE STRENGTH OF REINFORCING STEEL
C (KG/SQ.CM)
C SIGY30=3000.0
C SIGY35=3500.0
C SIGY40=4000.0
C SIGSA30=1500.0
C SIGSA35=1750.0
C SIGSA40=1800.0
C SIGMAY=SIGY35
C UNIT WEIGHT OF ASPHALT(KG/CM)
C ASPHWT=2300.0
C HALF WIDTH OF OUTSIDE FLANGE
C OUTFLN=62.0
C HEIGHT OF EDGE WALKING ROAD
C HTWALK=20.0
C WIDTH OF EDGE WALKING ROAD
C WDWALK=40.0
C LOAD FACTOR
C FACED=1.3
C FACLIV=2.13
C DEAD LOAD OF HAND RAIL (KG/M)
C HANDED=100.0
C NUMBER OF GIRDERS
C NORDER=4
C GIVEN VALUE OF HORIZONTAL FORCE OF HAND RAIL (KG/M)
C HORFOR=250.0
C HEIGHT OF HAND RAIL (CM)
C HTHAND=110.0
C CONCRETE COVER THICKNESS OF SLAB
C COVER=3.0
C DIAMETER OF REINFORCING STEEL (CM)
C DIAMETER=2.54
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR FLEXURE
C FAIM=0.85
C WIDTH OF HORIZONTAL BEAM
C WIDOBM=30.0
C HEIGHT OF HORIZONTAL BEAM
C HTHOBM=75.0
C ANGLE OF STIRRUP(DEGREE)
C ALPA=90.0
C PLEASE SELECT DB-LOAD
C IF LOAD=1 : DB24, 2 : DB18, 3 : DB135
C LOAD=2
C FOR OBJECTIVE FUNCTION
C REFERENCES : THE INFORMATION ON COMMODITY PRICE (THE FIRST AND
C SECOND BOOK), FEBRUARY, 1998.
C UNIT PRICE OF CONCRETE, REINFORCING STEEL AND FORM WORKS
C CONCRETE : MATERIAL : 62.010 WON/CM.METER
C LABOR EXPENSES : 23.044 WON/CM.METER
C TOTAL : 85.054 WON/CM.METER
C REINFORCING STEEL : MATERIAL : 369.577 WON/TON
C LABOR EXPENSES : 384.375 WON/TON
C TOTAL : 753.952 WON/TON
C FORM WORKS : MATERIAL : 5.908 WON/SQ.METER
C LABOR EXPENSES : 19.215 WON/SQ.METER
C TOTAL : 25.124 WON/SQ.METER
C PARAMETERS FOR UNIT PRICE
C *** PLEASE INPUT THE UNIT PRICES OF MATERIAL AND LABOR ***
C UNCON=85654.0
C UNSTL=763952.0
C UNFOM=25124.0
C UNIT WEIGHT OF REINFORCING STEEL
C UNIT WEIGHT OF STEEL = 0.0078546 KG/CM.CM

```

```

C      = 78546 KG/CM.METER
C      = 7.8546 TON/CM.METER
C
C      STELWT=7.8546
C
C *****
C      * THE END OF PARAMETERS *
C *****
C
C ALLOWABLE STRENGTH OF MATERIAL
C
C ALLOWABLE BENDING COMPRESSION STRESS
C      SIGMCA=0.4*SIGMCK
C ALLOWABLE SHEAR STRESS OF CONCRETE
C      TAU=0.25*SQR(SIGMCK)
C ALLOWABLE SHEAR STRESS OF MEMBER REINFORCED WITH SHEAR BAR
C      TAUCSH=1.15*SQR(SIGMCK)
C ALLOWABLE BEARING STRESS
C      SIGMBA=0.25*SIGMCK
C UNIT TRANSPOSITION FROM METER TO CENTIMETER (1M=100.0CM)
C      WIDTH=100.0
C
C *** OBJECTIVE FUNCTION ***
C
C THE WIDTH OF INSIDE AND OUTSIDE FLANGE
C      FLWDIN=(TOTWID-2.0*NGIRLN-X(6))/NGIRDER-1)
C      FLWDOT=OUTFLN-(FLWDIN-X(6))/2.0
C THE HEIGHT OF HUNCH
C      HTHUN=X(1)-X(2)
C THE WIDTH OF HUNCH
C      WDHUN=3.0*HTHUN
C VOLUME OF CONCRETE (CUBIC CM)
C VOLUME OF CONCRETE PER INSIDE GIRDER AND FLANGE
C      VOLINGD=X(2)*FLWDIN-X(6)*X(5)*HTHUN*WDHUN
C VOLUME OF CONCRETE PER OUTSIDE GIRDER AND FLANGE
C      VOLOUGD=X(2)*FLWDOT-X(6)*X(6)*HTHUN*WDHUN/2.0
C      +HTHUN*OUTFLN/2.0
C TOTAL VOLUME OF CONCRETE INCLUDING SLAB
C      VOLCON=(VOLOUGD+2.0*VOLINGD+NGIRDER-2)*GIRLEN
C
C VOLUME OF REINFORCING STEEL
C
C PER OUTSIDE GIRDER (CU.CM)
C      STLOUGD=X(7)*2.0*GIRLEN
C PER INSIDE GIRDER (CU.CM)
C      STLINGD=X(8)*NGIRDER-2)*GIRLEN
C UPPER REINFORCING STEEL OF SLAB(AT SECTION A AND B)(CU.CM)
C      STLPSL=X(3)*TOTWID*GIRLEN/WIDTH
C LOWER REINFORCING STEEL OF SLAB(AT SECTION C)(CU.CM)
C      STLOS=X(4)*TOTWID*GIRLEN/WIDTH
C TOTAL VOLUME OF REINFORCING STEEL
C      VOLSTL=STLOUGD+STLINGD+STLPSL+STLOS
C
C FORM WORK
C
C FOR GIRDER
C      FOMGIR=X(5)*HTHUN*NGIRDER+2*X(6)*NGIRDER
C FOR INSIDE HUNCH
C      SQARGI=HTHUN**2+WDHUN**2
C      DIAGIN=SQR(SQARGI)
C      FOMHNI=DIAGIN*NGIRDER-1)*2
C FOR OUTSIDE HUNCH
C      SQARGO=HTHUN**2+OUTFLN**2
C      DIAGOP=SQR(SQARGO)
C      FOMHNO=DIAGOP*2
C FOR EDGE WALKING ROAD
C      FOMROD=X(2)*2*HTWALK*4
C FOR SLAB
C      FOMSLB=(FLWDIN-X(6)*WDHUN+2)*NGIRDER-1)
C
C TOTAL AREA OF FORM WORK (SQ.CM)
C
C      AREFOM=(FOMGIR+FOMHNI+FOMHNO+FOMROD+FOMSLB)*GIRLEN
C
C STIRRUP
C
C NUMBER OF STIRRUP
C IN CASE OF OUTSIDE GIRDER
C      NUMSTO=SPAN/X(10)
C IN CASE OF INSIDE GIRDER
C      NUMSTI=SPAN/X(12)
C VOLUME OF STIRRUP
C      VOLSTO=X(9)*(X(2)-X(5)-5.0)-X(9)*(X(6)-10.0)/2.0
C      **NUMSTO
C      VOLSTI=(X(11)+X(2)-X(5)-5.0)-X(11)*X(6)-10.0)/2.0
C      **NUMSTI
C      VOLSTR=VOLSTO*2+VOLSTI*(NGIRDER-2)
C
C OBJ=VOLCON+UNICON/1000000.0-VOLSTL*STELWT+UNISTL
C      *1000000.0-AREFOM+UNIFOM/10000.0-VOLSTR*STELWT*
C      *UNISTL/1000000.0
C
C *** CONSTRAINTS ***
C
C DESIGN OF SLAB
C
C CALCULATION OF BENDING MOMENT(ULTIMATE BENDING MOMENT)
C DEAD LOAD (KG/SQ.M)
C PAVEMENT WDI, SLAB : WD2, CURB AND HAND RAIL : PDI
C FOR SECTION A
C      WDA1=PAVTHI*ASPHWT/WIDTH
C      WDA2=(X(1)-X(2))+CONCWT/2.0/WIDTH
C      TOTWDA=WDA1+WDA2
C ULTIMATE DEAD LOAD
C      WUDA=FACDED*TOTWDA
C CURB AND HAND RAIL
C      PDA=HTWALK*WDWALK+CONCWT*WIDTH/WIDTH-HANDED
C ULTIMATE DEAD LOAD
C      PUDA=FACDED*PDA
C
C SECTION B AND C
C      WDC1=WDA1
C      WDC2=X(2)+CONCWT/WIDTH
C      TOTWDC=WDC1+WDC2
C ULTIMATE DEAD LOAD
C      WUDC=FACDED*TOTWDC
C
C BENDING MOMENT AT SPAN AND SUPPORT (KG-CM)
C REFERENCE : BRIDGE CODE PP.446, 448-451.
C
C CANTILEVER ARMS (M)
C      ARM1=(OUTFLN-WDWALK)/WIDTH
C      ARM2=ARM1*WDWALK/2.0/WIDTH
C BENDING MOMENT BY DEAD LOAD AT SECTION A (KG-M)
C      BENMDA=(TOTWDA*ARM1**2/2.0+PDA*ARM2)
C BENDING MOMENT BY DEAD LOAD AT SECTION B (KG-M)
C      SPANSL=(FLWDIN-X(6))/WIDTH
C      BENMDB=(TOTWDC*SPANSL**2/10.0)
C      BENMDC=BENMDB
C ULTIMATE BENDING MOMENT AT SECTION A,B AND C
C      BENMDUA=FACDED*BENMDA
C      BENMDUB=FACDED*BENMDB
C      BENMDUC=FACDED*BENMDC
C
C LIVE LOAD
C
C WHEEL LOAD DISTRIBUTION WIDTH
C REF : BRIDGE CODE PP.448-449
C
C CALL WHEELOD(SPAN,LOAD,FLWDIN,Q1,Q2,WIDTH,DBLOAD,FACIMG,
C      *FACLV)
C
C ELLWID=0.8*((OUTFLN-WDWALK)/WIDTH-0.3)-1.14
C IF(ELLWID.GT.2.0)ELLWID=2.1
C BENDING MOMENT BY LIVE LOAD AT SECTION A
C      BENMLA=DBLOAD*((OUTFLN-WDWALK)/WIDTH-0.3)/ELLWID
C      IF(BENMLA.GT.0.0)BENMLA=0.0
C BENDING MOMENT BY LIVE LOAD AT SECTION B
C      BENMLB=(SPANSL-0.6)*DBLOAD-0.8/9.6
C      BENMLC=BENMLB
C ULTIMATE BENDING MOMENT
C      BENMLUA=FACLV*BENMLA
C      BENMLUB=FACLV*BENMLB
C      BENMLUC=FACLV*BENMLC
C
C IMPACT LOAD
C IMPACT FACTOR
C      FACIMP=15.0/(40.0-SPANSL)
C      IF(FACIMP.GT.0.3)FACIMP=0.3
C BENDING MOMENT BY IMPACT LOAD
C      BENMIA=FACIMP*BENMLA
C      BENMIB=FACIMP*BENMLB
C      BENMIC=FACIMP*BENMLC
C ULTIMATE IMPACT BENDING MOMENT
C      BENMIUA=BENMLUA*FACIMP
C      BENMIUB=BENMLUB*FACIMP
C      BENMIUC=BENMLUC*FACIMP
C
C BENDING MOMENT BY HORIZONTAL FORCE OF HAND RAIL
C HEIGHT FROM THE CENTER OF SLAB THICKNESS TO THE
C APPLICATION POINT OF HORIZONTAL FORCE
C      HTFORC=(HTHAND+PAVTHI-X(1)/2.0)/WIDTH
C      BENMHA=(HORFOR/HTFORC)
C ULTIMATE BENDING MOMENT BY HORIZONTAL FORCE OF HAND RAIL
C      BENMHUA=FACLV*BENMHA
C
C TOTAL BENDING MOMENT AT EACH SECTION
C      TOTMA=BENMDA+BENMLA+BENMIA+BENMHA
C      TOTMB=BENMDB+BENMLB+BENMIB+BENMHB
C      TOTMC=BENMDC+BENMLC+BENMIC
C
C TOTAL ULTIMATE BENDING MOMENT AT EACH SECTION
C      TOTMUA=BENMDUA+BENMLUA+BENMIUA+BENMHUA
C      TOTMUB=BENMDUB+BENMLUB+BENMIUB+BENMHB
C      TOTMUC=BENMDUC+BENMLUC+BENMIUC
C
C      TOTMUA=ABS(TOTMUA)
C      TOTMUB=ABS(TOTMUB)
C      TOTMUC=ABS(TOTMUC)
C
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH OF SLAB AT EACH SECTION
C AT SECTION A AND B
C EFFECTIVE THICKNESS OF SLAB AT SECTION A AND B
C      EFFTHA=X(1)-COVER-DIAMETER/2.0
C
C STEEL RATIO
C      PPA=X(3)/WIDTH/EFFTHA
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH AT SECTION A AND B
C      FAIMNA=(FADM*PPA*SIGMAY+WIDTH*EFFTHA**2
C      *(1.0-0.59*PPA*SIGMAY/SIGMCK)/WIDTH
C
C      IF(FAIMNA.EQ.0.0)FAIMNA=0.001
C      FAIMNB=FAIMNA
C
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH OF SLAB AT SECTION A AND B
C
C      G(1)=(TOTMUA-FAIMNA)/ABS(FAIMNA)
C      G(2)=(TOTMUB-FAIMNB)/ABS(FAIMNB)
C
C AT SECTION C
C EFFECTIVE THICKNESS OF SLAB AT SECTION C
C      EFFTHC=X(2)-COVER-DIAMETER/2.0
C
C STEEL RATIO
C      PPC=X(4)/WIDTH/EFFTHC
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH AT SECTION C
C      FAIMNC=(FADM*PPC*SIGMAY+WIDTH*EFFTHC**2
C      *(1.0-0.59*PPC*SIGMAY/SIGMCK)/WIDTH
C
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH OF SLAB AT SECTION C
C
C      IF(FAIMNCEQ.0.0)FAIMNC=0.001
C      G(3)=(TOTMUC-FAIMNC)/ABS(FAIMNC)
C
C CONSTRAINTS FOR MINIMUM STEEL RATIO OF SLAB
C      PMIN=14.0/SIGMAY
C      G(4)=(PMIN-PPA)/ABS(PMIN)
C      G(5)=(PMIN-PPC)/ABS(PMIN)
C
C CONSTRAINTS FOR MAXIMUM STEEL RATIO
C      PB=0.85*85*SIGMCK/6120.0/SIGMAY/6120.0-SIGMAY)
C      PMAX=0.75*PB
C
C      G(6)=(PPA-PMAX)/ABS(PMAX)
C      G(7)=(PPC-PMAX)/ABS(PMAX)
C
C CONSTRAINTS FOR REASONABILITY
C      IF(X(2).EQ.0.0)X(2)=0.001
C      G(8)=(X(2)-X(1))/ABS(X(2))

```

```

C
C *** DESIGN OF GIRDERS ***
C
C LOADS
C DEAD LOADS
C PAVEMENT
C WGD1=PAVTHI*PURWID*ASPHWT/WIDTH/WIDTH
C CURB
C WGD2=HTWALK*WDWALK*2*CONCWT/WIDTH/WIDTH
C HAND RAIL
C WGD3=HANDED*2
C SLAB
C WGD4=X(2)*TOTWID*CONCWT/WIDTH/WIDTH
C INSIDE HUNCH
C WGD5=HTHUN*WDHUN*(NGRDER-1)*CONCWT/WIDTH/WIDTH
C OUTSIDE HUNCH
C WGD6=HTHUN*OUTFLN*CONCWT/WIDTH/WIDTH
C GIRDERS
C WGD7=X(5)*X(6)*NGRDER*CONCWT/WIDTH/WIDTH
C TOTAL DEAD LOAD
C TOTWGD=WGD1+WGD2+WGD3+WGD4+WGD5+WGD6+WGD7
C UNIFORM DISTRIBUTION LOAD PER GIRDER
C WGD=TOTWGD/NGRDER
C ULTIMATE LOAD
C WGDULT=FACDED*WGD
C WEIGHT OF HORIZONTAL BEAM
C
C WTHOBM=WDHOBM*HTHOBM*SPANL*(NGRDER-1)
C **CONCWT/WIDTH/WIDTH
C WEIGHT OF HORIZONTAL BEAM PER GIRDER
C PDONE=WTHOBM/NGRDER
C ULTIMATE LOAD
C PDULT=FACDED*PDONE
C
C LIVE LOAD
C
C IMPACT FACTOR FOR GIRDER
C TRSPNG=SPAN/WIDTH
C FACIMG=15.0/(40.0-TRSPNG)
C IF(FACIMG.GT.0.3)FACIMG=0.3
C
C CALL EVALF(BENLIV,BENDE,SHELIV,SHEDED,WGDULT,PDULT,WIDTH,
C *FACLV,FLWDIN,LOAD)
C
C TOTAL ULTIMATE BENDING MOMENT AND SHEAR FORCE
C
C TOTBNO=BENDE(1)*BENLIV(1)*FACIMG*BENLIV(1)
C TOTBNI=BENDE(2)*BENLIV(2)*FACIMG*BENLIV(2)
C SHEAR FORCES
C TOTSHI=SHEDED(2)*SHELIV(2)*FACIMG*SHELIV(2)
C TOTSHO=SHEDED(1)*SHELIV(1)*FACIMG*SHELIV(1)
C
C *** CHECKING SECTIONS ***
C
C EFFECTIVE WIDTH OF COMPRESSIVE FLANGE
C IN CASE OF INSIDE GIRDER
C EFFLN1=12.0*X(2)-X(6)
C EFFL1=FLWDIN
C EFFL2=SPAN/4.0
C
C IF(EFFL1.LT.EFFLN)EFFLN1=EFFL1
C IF(EFFL2.LT.EFFLN)EFFLN1=EFFL2
C IN CASE OF OUTSIDE GIRDER
C B1=X(6)-OUTFLN
C EFFLN0=6.0*X(2)-B1
C EFFL01=SPAN/12.0-B1
C EFFL02=SPANSL/2.0-B1
C
C IF(EFFL01.LT.EFFLN0)EFFLN0=EFFL01
C IF(EFFL02.LT.EFFLN0)EFFLN0=EFFL02
C EFFECTIVE DEPTH OF FLANGE
C EFDFFL=X(2)-X(6)-10.0
C
C CHECKING BY STRENGTH DESIGN METHOD
C
C WHICH FORMULA SHOULD BE APPLIED ?
C
C AO=X(7)*SIGMAY/(0.85*SIGMCK*EFFLN0)
C AI=X(8)*SIGMAY/(0.85*SIGMCK*EFFLN1)
C IN CASE OF OUTSIDE GIRDER
C IF(AO.GT.X(2)) GO TO 115
C POUT=X(8)/(EFFLN0*EFDFFL)
C IN CASE OF RECTANGULA BEAM
C FAIMNO=FAIM*POLT*SIGMAY*EFFLN0*EFDFFL**2*
C *(1-0.59*POLT*SIGMAY/SIGMCK)
C SCOLT=0.53*SQRT(SIGMCK)*EFFLN0*EFDFFL
C GO TO 116
C 115 CONTINUE
C IN CASE OF T BEAM GIRDER
C ASFO=FAIM*SIGMCK*X(2)*(EFFLN0-X(6))/SIGMAY
C FAIMNO=FAIM*(ASFO*SIGMAY*(EFDFFL-X(2)/2.0)
C *(X(8)-ASFO)*SIGMAY*(EFDFFL-AO/2.0))
C SCOUT=0.53*SQRT(SIGMCK)*X(6)*EFDFFL
C 116 CONTINUE
C
C IN CASE OF INSIDE GIRDER
C
C IF(AIGT.X(2))GO TO 117
C PIN=X(7)/(EFFLN*EFDFFL)
C IN CASE OF RECTANGULAR BEAM
C FAIMNI=FAIM*PIN*SIGMAY*EFFLN1*EFDFFL**2*
C *(1-0.59*PIN*SIGMAY/SIGMCK)
C SCIN=0.53*SQRT(SIGMCK)*EFFLN1*EFDFFL
C GO TO 118
C 117 CONTINUE
C IN CASE OF T-BEAM GIRDER
C ASFI=FAIM*SIGMCK*X(2)*(EFFLN1-X(6))/SIGMAY
C FAIMNI=FAIM*(ASFI*SIGMAY*(EFDFFL-X(2)/2.0)
C *(X(7)-ASFI)*SIGMAY*(EFDFFL-AI/2.0))
C SCIN=0.53*SQRT(SIGMCK)*X(6)*EFDFFL
C 118 CONTINUE
C IF(FAIMNLEQ.0.0)FAIMNI=0.001
C IF(FAIMNOEQ.0.0)FAIMNO=0.001
C
C CONSTRAINTS FOR DESIGN STRENGTH
C
C G(9)=(TOTBNI-FAIMNI)/ABS(FAIMNI)
C
C G(10)=(TOTBNO-FAIMNO)/ABS(FAIMNO)
C
C CONSTRAINTS FOR MAXIMUM REINFORCING STEEL RATIO
C
C OUTSIDE GIRDER
C PFO=ASFO/X(6)*EFDFFL
C PMA XO=0.75*(PB-PFO)*X(6)/EFFLN0
C
C IF(PMAXO.EQ.0.0)PMA XO=0.001
C G(11)=(POUT-PMA XO)/ABS(PMA XO)
C INSIDE GIRDER
C PFI=ASFI/X(6)*EFDFFL
C PMA XI=0.75*(PB-PFI)*X(6)/EFFLN1
C
C IF(PMA XI.EQ.0.0)PMA XI=0.001
C G(12)=(PIN-PMA XI)/ABS(PMA XI)
C
C CONSTRAINTS FOR MINIMUM REINFORCING STEEL RATIO
C
C PMOUT=X(7)/X(6)*EFDFFL
C PMINS=X(8)/X(6)*EFDFFL
C
C G(13)=(PMIN-PMOUT)/ABS(PMIN)
C G(14)=(PMIN-PMINS)/ABS(PMIN)
C
C CONSTRAINTS FOR SHEAR STRENGTH
C ALPRAD=3.14159*ALPA/180.0
C UPPER=SDN(ALPRAD)/COS(ALPRAD)
C
C IN CASE OF OUTSIDE GIRDER
C
C FAISNO=0.7*SCOLT*0.7*X(9)*SIGMAY*EFDFFL*UPPER/X(10)
C IN CASE OF INSIDE GIRDER
C FAISNI=0.7*SCIN*0.7*X(11)*SIGMAY*EFDFFL*UPPER/X(12)
C
C IF(FAISNOEQ.0.0)FAISNO=0.001
C IF(FAISNIEQ.0.0)FAISNI=0.001
C G(15)=(TOTSHO-FAISNO)/ABS(FAISNO)
C G(16)=(TOTSHI-FAISNI)/ABS(FAISNI)
C
C CONSTRAINTS FOR MINIMUM STIRRUP
C FOR OUTSIDE GIRDER
C STRMNO=3.5*X(6)*X(10)/SIGMAY
C FOR INSIDE GIRDER
C STRMNI=3.5*X(6)*X(12)/SIGMAY
C
C IF(STRMNOEQ.0.0)STRMNO=0.001
C IF(STRMNIEQ.0.0)STRMNI=0.001
C G(17)=(STRMNO-X(9))/ABS(STRMNO)
C G(18)=(STRMNI-X(11))/ABS(STRMNI)
C CONSTRAINTS FOR THE MAXIMUM SPACE OF STIRRUP
C SPAMAX=EFDFFL/2.0
C IF(SPAMAX.GT.60.0)SPAMAX=60.0
C
C IF(SPAMAXEQ.0.0)SPAMAX=0.001
C G(19)=(X(10)-SPAMAX)/ABS(SPAMAX)
C G(20)=(X(12)-SPAMAX)/ABS(SPAMAX)
C
C RETURN
C END
C
C *** SUBROUTINE TO CALCULATE ABSOLUTE MAXIMUM MOMENT *
C
C SUBROUTINE EVALF(BENLIV,BENDE,SHELIV,SHEDED,
C *WGDULT,PDULT,WIDTH,FACLV,FLWDIN,LOAD)
C DIMENSION P(2),Q(2),Q(2),BENLIV(2),HTSHIN(2),SHELIV(2),
C *SHEDED(2),BENDE(2)
C
C TL=13000
C
C THE VALUE OF DB-LOAD
C CALL WHELOD(1300.0,FLWDIN,Q1,Q2,100.0,DBLOAD,FACIMG,2,13)
C LOADS FOR OUTSIDE GIRDER
C DO 1000 I=1,2
C
C P(1,1)=Q(1)
C P(1,2)=Q(2)
C P(1,3)=Q(1)
C
C POSITION OF MOVING LOAD
C S(1)=0.0
C S(2)=420.0
C S(3)=840.0
C
C CALCULATE THE POSITION OF TOTAL LOAD
C TOTMOM(I)=0.0
C TOTLOD(I)=0.0
C
C DO 20 J=1,3
C TOTMOM(I)=TOTMOM(I)+P(J)*S(J)
C TOTLOD(I)=TOTLOD(I)+P(J)
C 20 CONTINUE
C
C TOTLEN(I)=TOTMOM(I)/TOTLOD(I)
C DISTANCE BETWEEN TOTAL LOAD POSITION AND INDIVIDUAL
C LOAD POSITION
C DO 30 J=1,3
C DS(I,1)=ABS(S(J)-TOTLEN(I))
C 30 CONTINUE
C CALCULATION OF THE MINIMUM DISTANCE
C DMIN=DS(I,1)
C KK=1
C DO 40 J=2,3
C IF(DS(I,J).GE.DMIN)GO TO 40
C DMIN=DS(I,J)
C KK=J
C 40 CONTINUE
C
C REACTION AT SUPPORT A AND B BY LIVE LOAD AND DEAD LOAD
C
C RALIV=TOTLOD(I)*TL-TOTLEN(I)/TL
C RBLIV=TOTLOD(I)-RALIV
C
C RADED=WGDULT*TL/WIDTH/2.0-PDULT/2.0
C RBDED=RADED
C

```

```

C CALCULATION OF BENDING MOMENT BY LIVE LOAD AND DEAD LOAD
C FOR EACH CASE
C
C GO TO(100,200,300)KK
C
100 POSIT1=(TL-DS(L1))/2.0
   POSIT2=POSIT1-S(2)
   BEN1=RALIV*POSIT1
   BEN2=RALIV*POSIT2-P(L1)*S(2)
C
   BENLIV(0)=BEN1
   LLL=1
   IF(BEN2.GT.BENLIV(0))THEN
     BENLIV(0)=BEN2
   LLL=2
   END IF
   GO TO(105,205)LL
105 BENDED(0)=RADED*POSIT1
   GO TO 400
205 BENDED(0)=RADED*POSIT2
   GO TO 400
C
200 HARF1=TL/2.0
   IF(TOLEN(3).LE.HARF1)THEN
     POSIT1=TOLEN(1)/S(2)
     POSIT2=(TL-DS(L2))/2.0
     POSIT3=POSIT2-S(2)
   ELSE
     POSIT1=(TL-DS(L2))/2.0-S(2)
     POSIT2=(TL-DS(L2))/2.0
     POSIT3=POSIT2-S(2)
   END IF
C
   BEN1=RALIV*POSIT1
   BEN2=RALIV*POSIT2-P(L1)*S(2)
   BEN3=RBLIV*(TL-POSIT3)
C
   BENLIV(0)=BEN1
   LLL=1
   IF(BENLIV(0).LT.BEN2)THEN
     BENLIV(0)=BEN2
   LLL=2
   END IF
C
   IF(BENLIV(0).LT.BEN3)THEN
     BENLIV(0)=BEN3
   LLL=3
   END IF
C
   GO TO(106,206,306)LLL
106 BENDED(0)=RADED*POSIT1
   GO TO 400
206 BENDED(0)=RADED*POSIT2
   GO TO 400
306 BENDED(0)=RBDED*(TL-POSIT3)
   GO TO 400
C
300 POSIT2=(TL-DS(L3))/2.0-S(2)
   POSIT3=(TL-DS(L3))/2.0
C
   BEN2=RBLIV*(TL-POSIT2)-P(L3)*S(2)
   BEN3=RBLIV*(TL-POSIT3)
C
   BENLIV(0)=BEN3
   LLL=1
   IF(BENLIV(0).LT.BEN2)THEN
     BENLIV(0)=BEN2
   LLL=2
   END IF
   GO TO(107,207)LLL
107 BENDED(0)=RBDED*(TL-POSIT2)
   GO TO 400
207 BENDED(0)=RBDED*(TL-POSIT3)
   GO TO 400
C
400 CONTINUE
C
C CALCULATION OF ABSOLUTE MAXIMUM SHEAR FORCE
C
   HTSHN(1)=TL*P(L1)/TL
   HTSHN(2)=(TL-4.2)*P(L2)/TL
   HTSHN(3)=(TL-8.4)*P(L3)/TL
C
   SHELIV(0)=0.0
   DO 95 J=1,3
     SHELIV(J)=SHELIV(0)-HTSHN(J)
95 CONTINUE
C SHEAR FORCE BY DEAD LOAD
   SHEDED(0)=RADED
C
1000 CONTINUE
C
   RETURN
   END
C
C SUBROUTINE TO CALCULATE LIVE LOAD (WHEEL LOAD)
C
   SUBROUTINE WHELOD(SPAN,LOAD,FLWDIN,Q1,Q2,WIDTH,DBLOAD,
   *FACIMG,FACLIV)
   DIMENSION Q1(2),Q2(2)
C
   PLEASE SELECT DB-LOAD
C DB-LOAD
   P24=9500.0
   P18=7200.0
   P13=5400.0
C IF LOAD=1 ; DB24. 2 ; DB18. 3 ; DB13.5
   GO TO(100,200,300)LOAD
100 DBLOAD=P24
   GO TO 400
200 DBLOAD=P18
   GO TO 400
300 DBLOAD=P13
   GO TO 400
400 CONTINUE
C
C LIVE LOAD APPLIED TO OUTSIDE GIRDER(REF:BRIDGE CODE P.208)
   TRFLW1=FLWDIN/WIDTH

```

```

RAOUT=(TRFLW1/(1.20+0.25*TRFLWD))*DBLOAD
C
C BACK WHEEL
   Q2OUT=RAOUT
C FRONT WHEEL
   Q1OUT=Q2OUT/4.0
C ULTIMATE LOAD
   Q2(1)=FACLIV*Q2OUT
   Q1(1)=FACLIV*Q1OUT
C LIVE LOAD APPLIED TO INSIDE GIRDERS
   RAIN=(TRFLW1/1.65)*DBLOAD
C BACK WHEEL
   Q2IN=RAIN
C FRONT WHEEL
   Q1IN=Q2IN/4.0
C ULTIMATE LOAD
   Q2(2)=FACLIV*Q2IN
   Q1(2)=FACLIV*Q1IN
C
   RETURN
   END

```

수로교 상부구조

```

C-----
C OPTIMUM DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AQUEDUCT BRIDGE
C UPPER STRUCTURE
C PROGRAM : RAQUEF
C PROGRAMMER : KIM, JONG OK
C UNIT : KG, CM, KG/CM, KG/SQ, CM
C-----
C DIMENSION X(5),XL(5),XU(5),G(30),WK(400),IWK(1500),
C +RPRM(20),IPRM(20)
C DEFINE NRWK,NRIWK
C NRWK=4000
C NRWK=1500
C DEFINE METHOD,NDV,NCON
C METHOD=1
C 5 DESIGN VARIABLES
C NDV=5
C 14 CONSTRAINTS
C NCON=14
C STARTING POINT
C DESCRIPTION OF DESIGN VARIABLES
C X(1) : THICKNESS OF WALL
C X(2) : THICKNESS OF BOTTOM SLAB
C X(3) : MAIN STEEL AREA IN GIRDER
C X(4) : MAIN STEEL AREA IN BOTTOM SLAB PER UNIT LENGTH
C X(5) : MAIN STEEL AREA IN SIDE WALL PER UNIT LENGTH
C *** INPUT INITIAL DESIGN VARIABLES ***
C X(1)=20.0
C X(2)=20.0
C X(3)=19.08
C X(4)=3.57
C X(5)=3.57
C DESIGN BOUNDS
C LOWER BOUNDS
C XL(1)=8.0
C XL(2)=8.0
C XL(3)=0.0
C XL(4)=0.0
C XL(5)=0.0
C UPPER BOUNDS
C XU(1)=500.0
C XU(2)=500.0
C XU(3)=500.0
C XU(4)=500.0
C XU(5)=500.0
C DEFINE IPRINT,MINMAX,INFO
C PRINT CONTROL
C IPRINT=3
C MINIMIZE
C MINMAX=-1
C INITIALIZE INFO TO ZERO
C INFO=0
C OPTIMIZE
C ZERO RPRM AND IPRM
C DO 10 1-1,20
C RPRM(I)=0
C IPRM(I)=0
C 100 CALL DOT(INFO,METHOD,IPRINT,NDV,NCON,X,XL,XU,
C +OBJ,MINMAX,G,RPRM,IPRM,WK,NRWK,IWK,NRIWK)
C FINISHED ?
C IF(INFO,EQ,0)GO TO 1000
C EVALUATE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS
C CALL EVAL(OBJ,X,G)
C GO CONTINUE WITH OPTIMIZATION.
C GO TO 100
C 1000 CONTINUE
C STOP
C END
C SUBROUTINE EVAL(OBJ,X,G)
C DIMENSION X(7),G(30)
C *****
C # PARAMETERS #
C *****
C *** INPUT THE VALUES OF PARAMETERS ***
C SPAN OF AQUEDUCT BRIDGE
C SPAN=1200.0
C DESIGN INSIDE WIDTH
C WD=160.0
C DESIGN INSIDE HEIGHT
C TH=110.0
C DEPTH OF WATER
C WL=90.0
C HEIGHT FROM WATER SURFACE TO TOP OF WALL
C SH=20.0
C HEIGHT FROM BOTTOM OF GIRDER TO BOTTOM OF SLAB
C UH=7.0
C HUNCH WIDTH

```

```

HW=10.0
C HUNCH HEIGHT
HH=10.0
C UNIT WEIGHT OF CONCRETE(KG/CM)
GAMAC=2.5E-3
C WIND PRESSURE(KG/SQ,CM)
WIND=0.03
C UNIT WEIGHT OF WATER(KG/CM)
GAMAW=1.0E-3
C LOAD FACTOR
FACDED=1.5
C ANGLE OF BENT UP BAR(DEGREE)
ALPA=45.0
C DESIGN CRITERION STRENGTH OF CONCRETE(KG/SQ,CM)
SIGMCK=240.0
C YIELDING STRENGTH OF REINFORCING STEEL(KG/SQ,CM)
SIGMAY=3000.0
C STEEL COVER (CM)
SLBPRM=5.0
C GIRPRM=5.0
C WALPRM=5.0
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR FLEXURE
FAIM=0.85
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR SHEAR STRENGTH
FAIV=0.7
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR COLUMN
FAICOL=0.65
C *** FOR OBJECTIVE FUNCTION ***
C REFERENCES : THE INFORMATION ON COMMODITY PRICE(THE FIRST
C AND SECOND BOOK),FEBRUARY,1999.
C UNIT PRICE OF CONCRETE, REINFORCING STEEL AND FORM WORKS
C CONCRETE : MATERIAL : 57.600 WON/CM.METER
C LABOR EXPENSES : 20.090 WON/CM.METER
C TOTAL : 77.690 WON/CM.METER
C REINFORCING STEEL : MATERIAL : 334.461 WON/TON
C LABOR EXPENSES : 321.819 WON/TON
C TOTAL : 656.280 WON/TON
C FORM WORKS : MATERIAL : 9.592 WON/SQ.METER
C LABOR EXPENSES : 18.366 WON/SQ.METER
C TOTAL : 27.958 WON/SQ.METER
C PARAMETERS FOR UNIT PRICE
C *** INPUT THE UNIT PRICES OF MATERIAL AND LABOR ***
C UNICON=77690.0
C UNISTL=656280.0
C UNIFOM=27958.0
C UNIT WEIGHT OF REINFORCING STEEL
C UNIT WEIGHT OF STEEL = 0.0078546 KG/CM
C = 785.46 KG/CM.METER
C = 7.8546 TON/CM.METER
C STELWT=7.8546
C *****
C # THE END OF PARAMETERS #
C *****
C UNIT CONVERSION FROM METER TO CENTIMETER(1M=100.0CM)
UNLEN=100.0
C WIDTH OF GIRDER
GW=X(1)*HW
C PURE WIDTH OF SLAB
PSW=WD-2.0*HW
C OBJECTIVE FUNCTION
C OBJ=X(1)*TH-2.0*HW+HH-X(2)*(WD-2.0*X(1))-UH+GW
C **SPAN*UNICON/1000000.0
C *(X(4)*(WD-2.0*X(1))-2.0*WALPRM)*X(5)*(TH-X(2))-UH-2.0*GIRPRM)*2.0
C **SPAN*UNLEN-2.0*X(3)*SPAN)*STELWT*UNISTL/1000000.0
C *(2.0*(TH-X(2))-UH)+2.0*GW+PSW-2.0*(SH-WL-HH)
C *-2.0*SQRT(HW**2+HH**2)+SPAN*UNIFOM/10000.0
C DESIGN OF MAIN BEAM
C CALCULATION OF LOAD
C WEIGHT OF CONCRETE(KG/CM)
WTCONB=(2.0*X(1)*TH+HW+HH-X(2)*(WD-2.0*X(1))-2.0*UH*(X(1)+HW))+GAMAC
C WEIGHT OF WATER(KG/CM)
WTWATB=(WL*WD-HW+HH)+GAMAW
C TOTAL WEIGHT(KG/CM)
TOTWETB=WTCONB+WTWATB
C LOAD FOR ONE SIDE OF MAIN BEAM(KG/CM)
ONEBEM=TOTWETB/2.0
C THE MAXIMUM BENDING MOMENT OF MAIN BEAM
BENMAX=ONEBEM*SPAN**2/8.0
C MAXIMUM SHEAR FORCE
SHEMAX=ONEBEM*SPAN/2.0
C FACTORED FLEXURAL STRENGTH FOR MAIN BEAM
BEMFFS=FACDED*BENMAX
C FACTORED SHEAR STRENGTH FOR MAIN BEAM
BEMFSS=FACDED*SHEMAX
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH OF MAIN BEAM
C EFFECTIVE DEPTH OF MAIN BEAM
EFFDPBM=TH-X(2)-UH-GIRPRM
C STEEL RATIO OF MAIN BEAM
PPBEM=X(3)/EFFDPBM/X(1)
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH OF MAIN BEAM
FAINMB=(FAIM*PPBEM-SIGMAY*X(1)+EFFDPBM**2
C *(1.0-0.59*PPBEM-SIGMAY/SIGMCK)
C IF(FAIMNB,EQ,0)FAIMNB=0.001
C G(1)=(BEMFSS-FAINMB)/ABS(FAINMB)
C CONSTRAINTS FOR MINIMUM STEEL RATIO OF MAIN BEAM
PMIN=14.0/SIGMAY

```

```

C
C G(2)=(PMIN-PPBEM)/ABS(PMIN)
C
C CONSTRAINTS FOR MAXIMUM STEEL RATIO
C FB=0.85*0.85*SIGMCK*6120.0/SIGMAY/(6120.0-SIGMAY)
C PMAX=0.75*FB
C
C G(3)=(PPBEM-PMAX)/ABS(PMAX)
C CONSTRAINTS FOR SHEAR STRENGTH
C SCBEM=0.53*SQRT(SIGMCK)*X(1)*EFFDPBM
C FAISNMB=0.7*SCBEM
C
C IF(FAISNMB.EQ.0.0)FAISNMB=0.001
C G(4)=(BEMFSS-FAISNMB)/ABS(FAISNMB)
C
C CHECK FOR THE DEFLECTION OF MAIN BEAM
C
C CRITERIA FOR THE THICKNESS OF MAIN BEAM
C
C THICKF=0.4-SIGMAY/7000.0
C THICMN=THICKF*SPAN/16.0
C TOTAL HEIGHT OF MAIN BEAM
C TOTHT=TH-UH-X(2)
C
C IF(THICMN.EQ.0.0)THICMN=0.001
C G(5)=(THICMN-TOTHT)/ABS(THICMN)
C
C DESIGN OF SLAB
C
C CALCULATION OF LOAD
C
C WEIGHT OF CONCRETE(KG/CM)
C WTCONS=X(2)*UNLEN*GAMAC
C WEIGHT OF WATER(KG/CM)
C WTWATS=WL*UNLEN*GAMAW
C TOTAL LOAD FOR THE SLAB
C TOTWETS=WTCONS+WTWATS
C BENDING MOMENT AT THE END OF SLAB(KG-CM)
C BENMSA=TOTWETS*WD**2/16.0
C BENMSB=BENMSA
C BENMSC=TOTWETS*WD**2/16.0
C FACTORED FLEXURAL STRENGTH FOR SLAB
C FBENMSA=FACDED*BENMSA
C FBENMSB=FACDED*BENMSB
C FBENMSC=FACDED*BENMSC
C MAXIMUM SHEAR FORCE OF SLAB
C SHESLB=TOTWETS*WD/2.0
C FACTORED SHEAR STRENGTH OF SLAB
C FSHESLB=FACDED*SHESLB
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH OF SLAB
C EFFECTIVE DEPTH OF SLAB
C EFFDPS=X(2)-SLBPRM
C STEEL RATIO OF SLAB
C PPSLB=X(4)/EFFDPS*UNLEN
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH OF SLAB
C FAIMNSL=FAIM+PPSLB*SIGMAY*UNLEN*EFFDPS**2
C *(1.0-0.59*PPSLB*SIGMAY/SIGMCK)
C
C IF(FAIMNSL.EQ.0.0)FAIMNSL=0.001
C G(6)=(FBENMSA-FAIMNSL)/ABS(FAIMNSL)
C G(7)=(FBENMSC-FAIMNSL)/ABS(FAIMNSL)
C CONSTRAINTS FOR MINIMUM STEEL RATIO OF SLAB
C G(8)=(PMIN-PPSLB)/ABS(PMIN)
C CONSTRAINTS FOR MAXIMUM STEEL RATIO
C G(9)=(PPSLB-PMAX)/ABS(PMAX)
C CONSTRAINTS FOR SHEAR STRENGTH
C SCSLB=0.53*SQRT(SIGMCK)*UNLEN*EFFDPS
C FAISNSL=0.7*SCSLB
C IF(FAISNSL.EQ.0.0)FAISNSL=0.001
C G(10)=(FSHESLB-FAISNSL)/ABS(FAISNSL)
C
C DESIGN OF SIDE WALL
C
C CALCULATION OF LOAD
C
C WATER PRESSURE(KG/SQ.CM)
C PWATER=GAMAW*TH
C WIND PRESSURE
C PWIND=WIND*TH*UNLEN
C BENDING MOMENT OF SIDE WALL BY WATER PRESSURE
C BENWAT=PWATER*UNLEN*TH**2/6.0
C BENDING MOMENT OF SIDE WALL BY WIND PRESSURE
C BENWIN=PWIND*TH*2.0
C BENDING MOMENT OF SIDE WALL FOR DESIGN
C BENWAL=MAX(BENWAT,BENWIN)
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH OF SIDE WALL
C FACTORED FLEXURAL STRENGTH FOR SIDE WALL
C FBENWAL=FACDED*BENWAL
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH OF SIDE WALL
C EFFECTIVE DEPTH OF SIDE WALL
C EFFDPW=X(1)-WALPRM
C STEEL RATIO OF SIDE WALL
C PPWAL=X(5)/EFFDPW*UNLEN
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH OF SIDE WALL
C FAIMNWL=FAIM+PPWAL*SIGMAY*UNLEN*EFFDPW**2
C *(1.0-0.59*PPWAL*SIGMAY/SIGMCK)
C
C IF(FAIMNWL.EQ.0.0)FAIMNWL=0.001
C G(11)=(FBENWAL-FAIMNWL)/ABS(FAIMNWL)
C CONSTRAINTS FOR MINIMUM STEEL RATIO OF SIDE WALL
C G(12)=(PMIN-PPWAL)/ABS(PMIN)
C CONSTRAINTS FOR MAXIMUM STEEL RATIO
C G(13)=(PPWAL-PMAX)/ABS(PMAX)
C CONSTRAINTS FOR SHEAR STRENGTH
C SHEAWT=PWATER*TH*UNLEN/2.0
C SHEAWD=PWIND
C SHEAWL=MAX(SHEAWT,SHEAWD)
C FACTORED SHEAR STRENGTH OF WALL
C FSHEAWL=FACDED*SHEAWL
C
C SCWALL=0.53*SQRT(SIGMCK)*UNLEN*EFFDPW
C FAISNWL=0.7*SCWALL
C
C IF(FAISNWL.EQ.0.0)FAISNWL=0.001
C G(14)=(FSHEAWL-FAISNWL)/ABS(FAISNWL)
C
C RETURN
C END

```

```

C
C *****
C OPTIMUM DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AQUEDUCT BRIDGE
C ABUTMENT
C
C PROGRAM : RABUT.F
C
C PROGRAMMER : KIM, JONG OIK
C
C UNIT : KG, CM, KG/CM, KG/SQ.CM, KG-CM
C *****
C DIMENSION X(8),XL(8),XU(8),G(36),WK(4000),FWK(1500),
C *RPRM(20),IPRM(20)
C DEFINE NRWK,NRIWK
C NRWK=4000
C NRIWK=1500
C DEFINE METHOD,NDV,NCON
C METHOD=1
C 8 DESIGN VARIABLES
C NDV=8
C 36 CONSTRAINTS
C NCON=36
C
C STARTING POINT
C
C DESCRIPTION OF DESIGN VARIABLES
C
C X(1) : WIDTH OF SUPPORT
C X(2) : DIFFERENCE BETWEEN WIDTH OF BOTTOM BODY AND WIDTH OF
C SUPPORT
C X(3) : DEPTH OF SUPPORT
C X(4) : THICKNESS OF FOOTING
C X(5) : LENGTH OF TOE AND HEEL
C X(6) : MAIN STEEL AREA IN BODY
C X(7) : TOP STEEL AREA IN FOOTING
C X(8) : BOTTOM STEEL AREA IN FOOTING
C
C *** INPUT INITIAL DESIGN VARIABLES ***
C
C X(1)=30.0
C X(2)=30.0
C X(3)=40.0
C X(4)=35.0
C X(5)=10.0
C X(6)=0.0
C X(7)=0.0
C X(8)=0.0
C
C
C DESIGN BOUNDS
C
C LOWER BOUNDS
C
C XL(1)=10.0
C XL(2)=10.0
C XL(3)=10.0
C XL(4)=10.0
C XL(5)=10.0
C XL(6)=0.0
C XL(7)=0.0
C XL(8)=0.0
C
C UPPER BOUNDS
C
C XU(1)=500.0
C XU(2)=500.0
C XU(3)=500.0
C XU(4)=500.0
C XU(5)=500.0
C XU(6)=500.0
C XU(7)=500.0
C XU(8)=500.0
C
C DEFINE IPRINT,MINMAX,INFO
C
C PRINT CONTROL
C IPRINT=3
C
C MINIMIZE
C MINMAX=-1
C INITIALIZE INFO TO ZERO
C INFO=0
C OPTIMIZE
C ZERO RPRM AND IPRM
C DO 10 I=1,20
C RPRM(I)=0.0
C IPRM(I)=0
C 10
C 100 CALL DOT(INFO,METHOD,IPRINT,NDV,NCON,X,XL,XU,
C *OBJ,MINMAX,G,RPRM,IPRM,WK,NRWK,JWK,NRIWK)
C FINISHED ?
C IF(INFO.EQ.0)GO TO 1000
C
C EVALUATE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS.
C
C CALL EVAL(OBJ,X,G)
C GO CONTINUE WITH OPTIMIZATION.
C GO TO 100
C 1000 CONTINUE
C
C STOP
C END
C
C SUBROUTINE EVAL(OBJ,X,G)
C
C DIMENSION X(8),G(36),LX(6),WC(8),ARM(8),WETMOM(8),Y(6)
C *DEMOME(6),DESHIER(6),EFFBOD(6),BBODY(6),FADMN(6),PIVNST(6)
C
C *****
C # PARAMETERS #
C *****
C
C *** INPUT THE VALUES OF PARAMETERS ***

```

```

C # THE END OF PARAMETERS #
C *****
C # INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL (UNIT : RADIAN)
C FAIRAD=FAIDEG*UNITRA
C THE RATIO OF THE CIRCUMPERENCE OF A CIRCLE TO ITS DIAMETER
C PAI=3.14159
C UNIT TRANSPOSITION FROM DEGREE TO RADIAN
C UNITRA=PAI/180.0
C UNIT CONVERSION FROM METER TO CENTIMETER(1M=100.0CM)
C UNILEN=100.0
C
C OBJECTIVE FUNCTION
C
C UGW=UX(1)*UHW
C UPSW=UWD-2.0*UHW
C WISUPT=UWD-2.0*UX(1)-2.0
C WIBODY=UWD-2.0*UX(1)-10.0
C WIFOOT=WIBODY-2.0*X(5)
C HTLOAD=UTH-UX(2)-UUH
C BTBODY=X(1)-X(2)
C HTBODY=HA-X(3)-THNECK
C VOLUME OF CONCRETE
C VOLCONS=X(1)*X(3)*WISUPT
C VOLCONN=X(1)*WISUPT*(X(1)-THNECK)*(WISUPT-2.0*THNECK)*THNECK/2.0
C VOLCONB=X(1)*BTBODY*HTBODY*WIBODY/2.0
C VOLCONF=(BTBODY-2.0*X(5))*X(4)*WIFOOT
C TOTCON=VOLCONS-VOLCONN-VOLCONB-VOLCONF
C VOLUME OF STEEL
C TOTSTL=X(6)*HA-(X(7)-X(8))*(BTBODY-2.0*X(5))
C AREA OF FORMWORK
C AREASP=2.0*(X(3)+WISUPT-X(1)+X(3))
C AREABD=HTBODY*WIBODY*(X(1)-BTBODY)*HTBODY
C AREAFW=(HTBODY+2.0*X(2)+2.0)*WIBODY
C AREAFH=X(4)*(BTBODY-2.0*X(5))+2.0*X(4)*WIFOOT+2.0
C TOTFOM=AREASP+AREABD+AREAFW
C
C OBJ=TOTCON-UNICON/1000000.0-TOTSTL*STELWT+UNISTL/1000000.0
C **TOTFOM-UNIFOM/10000.0
C
C DESIGN OF ABUTMENT
C
C LOAD
C
C WEIGHT OF REINFORCED CONCRETE
C AREA OF THE SECTION OF UPPER STRUCTURE
C ARWALL=UX(1)*UTH+2.0
C ARHUNC=UHW*UHH
C ARSLAB=(UWD-2.0*UX(1))*UX(2)
C ARUNDE=(UX(1)-UHW)*UHH+2.0
C REACTION BY REINFORCED CONCRETE OF UPPER STRUCTURE
C REACON=(ARWALL+ARHUNC+ARSLAB+ARUNDE)*SPAN/GAMAC/2.0
C REACTION BY WATER IN UPPER STRUCTURE
C REAWAT=REACON*(UWD-UHW+UHH)*SPAN/GAMAW/2.0
C TOTAL REACTION BY UPPER STRUCTURE
C TOTREA=REACON+REAWAT
C MOMENT BY SELF WEIGHT OF ABUTMENT
C
C SELF WEIGHT OF EACH ELEMENT OF ABUTMENT
C WC(1)=X(1)*X(3)*WISUPT*GAMAC
C WC(2)=(THNECK*X(1)+WISUPT*(THNECK**2.0)+
C *(WISUPT-2.0*X(1))*GAMAC
C WC(3)=(X(1)-THNECK)*HTBODY*WIBODY*GAMAC
C WC(4)=X(2)*HTBODY*WIBODY*GAMAC/2.0
C WC(5)=X(4)*2.0*X(5)*BTBODY*WIFOOT*GAMAC
C WC(6)=X(5)*HA*WIFOOT*GAMAS
C WC(7)=X(5)*WIFOOT*HTLOAD*GAMAW
C WC(8)=TOTREA
C MOMENT ARM FROM THE POINT OF 'O'
C ARM(1)=X(5)*BTBODY-X(1)/2.0
C ARM(2)=ARM(1)
C ARM(3)=X(5)-X(2)-THNECK-(X(1)-THNECK)/2.0
C ARM(4)=X(5)-X(2)+2.0/3.0
C ARM(5)=X(5)-BTBODY/2.0
C ARM(6)=X(5)*BTBODY-X(5)/2.0
C ARM(7)=ARM(6)
C ARM(8)=X(5)-X(2)-X(1)/2.0
C TOTAL VERTICAL WEIGHT AND TOTAL MOMENT
C TOTWET=0.0
C TOTMOM=0.0
C DO I=0 I=8
C WETMOM(I)=WC(I)*ARM(I)
C TOTWET=TOTWET-WC(I)
C TOTMOM=TOTMOM-WETMOM(I)
C 150 CONTINUE
C POSITION OF TOTAL VERTICAL FORCE FROM THE POINT OF 'O'
C PFX=TOTMOM/TOTWET
C CALCULATION OF SOIL PRESSURE
C DECISION OF SHEAR RESISTANCE ANGLE OF SOIL
C FAIR=0.01745*FAI
C ALPAR=0.01745*ALPA
C BETAR=0.01745*BETA
C LOAD INTENSITY ON EARTH SURFACE
C QLI=GAMAW*UTH
C SOIL PRESSURE COEFFICIENT BY COULOMB'S FORMULA
C DELTAR=FAIR/3.0
C
C UPPER=COS(FAIR-ALPAR)**2
C ROOTUP=SIN(FAIR-DELTAR)/SIN(FAIR-BETAR)
C ROOTUN=COS(DELTAR-ALPAR)/COS(ALPAR-BETAR)
C UNDER1=SQRT(ROOTUP/ROOTUN)
C UNDER2=(1-UNDER1)**2
C UNDER=(COS(ALPAR)**2)+COS(DELTAR-ALPAR)*UNDER2
C
C SKA=UPPER/UNDER
C SOIL PRESSURE BY THE LOAD ON EARTH SURFACE
C SPA=QLI*HA*SKA*WIBODY
C APPLIED POINT OF SOIL PRESSURE : HA/2.0
C SOIL PRESSURE BY THE SOIL
C CPA=GAMAS*SKA*WIBODY*HA**2/2.0
C APPLIED POINT OF SOIL PRESSURE : HA/3.0
C OVERTURNING MOMENT BY SOIL PRESSURE
C PH=SPA-CPA
C SMOVER=CPA*HA/3.0-SPA*HA/2.0
C SMRESI=TOTMOM
C DISTANCE FROM 'O' TO THE APPLIED POINT OF TOTAL LOAD
C DISTAN=(SMRESI-SMOVER)/TOTWET

```

```

FOOTLN=X(1)-X(2)-2.0*X(5)
ECCENT=ABS(FOOTLN/2.0-DISTAN)
C CONSTRAINTS FOR OVERTURNING
C MIDDLE THIRD DISTANCE
DMIDTH=FOOTLN/6.0
IF(DMIDTH.EQ.0.0)DMIDTH=0.001
G(1)=(ECCENT-DMIDTH)/ABS(DMIDTH)
C SAFETY RATIO
RASFOV=SMRES/SMOVER
IF(RASFOV.EQ.0.0)RASFOV=0.001
G(2)=(SAFEV-RASFOV)/ABS(RASFOV)
C CONSTRAINTS FOR SLIDING
C SLIDING RESISTANCE FORCE
C FRICTION COEFFICIENT
SMU=TAN(FAIR)
HR=TOTWET*SMU
RASFSL=HR/PH
IF(RASFSL.EQ.0.0)RASFSL=0.001
G(3)=(SAFEFL-RASFSL)/ABS(RASFSL)
C CONSTRAINTS FOR GROUND SETTLEMENT
QMAX=TOTWET*(1.0-6.0*ECCENT)/FOOTLN/FOOTLN/WIFOOT
QMIN=TOTWET*(1.0-6.0*ECCENT)/FOOTLN/FOOTLN/WIFOOT
G(4)=(QMAX-ALLSUP)/ABS(ALLSUP)
C
C DESIGN OF ABUTMENT BODY
C
C CALCULATION OF DESIGN MOMENT AND SHEAR FORCE
C
QUARTR=HTBODY/4.0
Y(1)=X(3)/2.0
Y(2)=X(3)-THNECK
Y(3)=HA-3.0*QUARTR
Y(4)=HA-2.0*QUARTR
Y(5)=HA-QUARTR
Y(6)=HA
C
DO 200 I=1,6
DEMOME(I)=(QL1+SKA+WIBODY*Y(I))*2.2.0
+SKA*GAMAS+WIBODY*Y(I)+3*6.0*1.8
C
DESHER(I)=(QL1+SKA+WIBODY*Y(I)-
+SKA*GAMAS+WIBODY*Y(I))*2.2/0*1.8
200 CONTINUE
C
C CHECK THE WALL THICKNESS AND REINFORCEMENT
C
C EFFECTIVE DEPTH OF BODY AT EACH CHECK POINT
C
BODGRD=X(2)-THNECK)/HTBODY
DEPTH2=X(1)-THNECK
DEPTH3=DEPTH2-BODGRD+QUARTR+1.0
DEPTH4=DEPTH2-BODGRD+QUARTR+2.0
DEPTH5=DEPTH2-BODGRD+QUARTR+3.0
DEPTH6=DEPTH2-BODGRD+QUARTR+4.0
C
DUMVA1=BODPRM-DIAMETER/2.0
EPFBOD(1)=X(1)-DUMVA1
EPFBOD(2)=DEPTH2-DUMVA1
EPFBOD(3)=DEPTH3-DUMVA1
EPFBOD(4)=DEPTH4-DUMVA1
EPFBOD(5)=DEPTH5-DUMVA1
EPFBOD(6)=DEPTH6-DUMVA1
C STEEL RATIO AND NOMINAL FLEXURAL STRENGTH OF BODY
PBODY(1)=X(6)/WIBODY/EPFBOD(1)
PBODY(2)=X(6)/WIBODY/EPFBOD(2)
PBODY(3)=X(6)/WIBODY/EPFBOD(3)
PBODY(4)=X(6)/WIBODY/EPFBOD(4)
PBODY(5)=X(6)/WIBODY/EPFBOD(5)
PBODY(6)=X(6)/WIBODY/EPFBOD(6)
C
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
C
DO 300 I=1,6
FAIMN(I)=FAIM+PBODY(I)*SIGMAY+WIBODY*EFFBOD(I)**2
+(1.0-0.59*PBODY(I))*SIGMAY/SIGMCK
300 CONTINUE
C
DO 350 I=1,6
IF(FAIMN(I).EQ.0.0)FAIMN(I)=0.001
350 CONTINUE
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH OF ABUTMENT BODY
G(5)=(DEMOME(1)-FAIMN(1))/ABS(FAIMN(1))
G(6)=(DEMOME(2)-FAIMN(2))/ABS(FAIMN(2))
G(7)=(DEMOME(3)-FAIMN(3))/ABS(FAIMN(3))
G(8)=(DEMOME(4)-FAIMN(4))/ABS(FAIMN(4))
G(9)=(DEMOME(5)-FAIMN(5))/ABS(FAIMN(5))
G(10)=(DEMOME(6)-FAIMN(6))/ABS(FAIMN(6))
C CONSTRAINTS FOR SHEAR IN ABUTMENT BODY
DO 400 I=1,6
PIVNST(I)=0.53*FAIS+SQRT(SIGMCK)/WIBODY+EFFBOD(I)
400 CONTINUE
C
DO 450 I=1,6
IF(PIVNST(I).EQ.0.0)PIVNST(I)=0.001
450 CONTINUE
C
G(11)=(DESHER(1)-PIVNST(1))/ABS(PIVNST(1))
G(12)=(DESHER(2)-PIVNST(2))/ABS(PIVNST(2))
G(13)=(DESHER(3)-PIVNST(3))/ABS(PIVNST(3))
G(14)=(DESHER(4)-PIVNST(4))/ABS(PIVNST(4))
G(15)=(DESHER(5)-PIVNST(5))/ABS(PIVNST(5))
G(16)=(DESHER(6)-PIVNST(6))/ABS(PIVNST(6))
C
C DESIGN OF FOOTING
C
C DESIGN OF HEEL
C
C CALCULATION OF DESIGN MOMENT AND DESIGN SHEAR FORCE
C
UPLoad=WC(7)/WIFOOT*X(5)
CONVOL=X(4)*X(5)*WIFOOT
SOLVOL=HA*X(5)*WIFOOT
QLH=1.5*(CONVOL+GAMAC-SOLVOL+GAMAS)/WIFOOT/X(5)*UPLoad
C DESIGN MOMENT IN HEEL
DEMOHL=QUH*X(6)**2*WIFOOT/2.0
C DESIGN SHEAR FORCE IN HEEL
DESHHL=QUH+WIFOOT*X(5)

```



```

C          = 7.8546 TON/CM.METER
C
C      STELW7=7.8546
C *****
C      # THE END OF PARAMETERS #
C *****
C THE RATIO OF THE CIRCUMFERENCE OF A CIRCLE TO ITS DIAMETER
C      FAI=3.14159
C UNIT TRANSPOSITION FROM DEGREE TO RADIAN
C      UNITRA=PAI/180.0
C INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL (UNIT : RADIAN)
C      FAIRAD=FAIDEG*UNITRA
C UNIT CONVERSION FROM METER TO CENTIMETER(M=100.0CM)
C      UNLEN=100.0
C THE VALUE OF K
C      FK1=0.5
C      FK2=0.7
C      FK3=1.0
C      FK4=2.0
C COEFFICIENT OF KI FOR BALANCED LOAD
C      CKI=0.85
C
C *** OBJECTIVE FUNCTION ***
C
C VOLUME OF CONCRETE(CU.CM)
C      VOLCONS=HBS*WBS*BSL
C      VOLCONN=(WBS*BSL*(X(1)+X(2))+HOG*2.0
C      VOLCONP=X(1)*X(2)*(HOP-HBS-HOG)
C      VOLCONF=4.0*(X(4)+X(5)+X(3)+4.0*(X(4)+X(5)+X(1)
C      **X(2))+HSF/2.0
C      TOTCON=VOLCONS+VOLCONN+VOLCONP+VOLCONF
C VOLUME OF STEEL(CU.CM)
C      WD1=(X(4)-X(1))/2.0**2+HSF**2
C      WD2=(X(5)-X(2))/2.0**2+HSF**2
C      GRAD1=SQRT(WD1)
C      GRAD2=SQRT(WD2)
C      VOLSTF=X(6)*(HOP+HSF-X(3))
C      VOLSTF1=X(7)*(GRAD1*X(5)+4.0*UNLEN
C      VOLSTF2=X(8)*(GRAD2*X(4)+4.0*UNLEN
C      VOLSTF3=X(9)+X(5)+X(4)+4.0*UNLEN
C      VOLSTF4=X(10)+X(4)+X(5)+4.0*UNLEN
C      TOTSTL=VOLSTP+VOLSTF1+VOLSTF2+VOLSTF3+VOLSTF4
C AREA OF FORM WORK(SQ.CM)
C      AREABS=2.0*(HBS+HOG)*(WBS+BSL)
C      AREAFP1=2.0*(HOP-HBS-HOG)*(X(1)+X(2))
C      AREAFP2=4.0*(X(3)+X(4)+X(5))
C      TOTFOM=AREABS+AREAFP1+AREAFP2
C
C      OBJ=TOTCON+UNCON/1000000.0+TOTSTL*STELW7+UNISTL/100000.0
C      **TOTFOM+UNIFOM/1000.0
C
C LOAD
C
C OVERTURNING MOMENT BY WIND AND WATER FLOW PRESSURE
C WIND FORCE ON UPPER STRUCTURE CROSSED BRIDGE AXIS(KG)
C      WINFUC=SPAN*(UTH-UX(2)-UUIH)*WINDP
C WIND FORCE ON BRIDGE SEAT CROSSED BRIDGE AXIS(KG)
C      WINFSC=(HBS+HOG)*BSL*WINDP
C WIND FORCE ON PIER CROSSED BRIDGE AXIS(KG)
C      WINFPC=(HOP-HBS-HOG)*X(2)*WINDP
C WATER FLOW FORCE ON PIER CROSSED BRIDGE AXIS(KG)
C      WATFFC=0.07*(WATVEL**2)*HOP*X(2)/10.0
C HEIGHT OF APPLIED FORCE POINT FROM THE BOTTOM OF FOOTING(CM)
C      HWINFUC=X(3)*HSF+HOP*(UTH-UX(2)-UUIH)/2.0
C      HWINFSC=X(3)*HSF+HOP*(HBS+HOG)/2.0
C      HWINFPC=X(3)*HSF+HOP*(HOP-HBS-HOG)/2.0
C      HWATFFC=X(3)*HSF+HOG/2.0
C WIND FORCE ON PIER DIRECTED BRIDGE AXIS(KG)
C      WINFSD=(HBS+HOG)*WBS*WINDP
C      WINFPD=(HOP-HBS-HOG)*X(1)*WINDP
C HEIGHT OF APPLIED FORCE POINT FROM THE BOTTOM OF FOOTING(CM)
C      HWINFSD=(HBS+HOG)/2.0*(X(3)+HSF
C      HWINFPD=X(3)*HSF+HOP*(HBS+HOG)/2.0
C CALCULATION OF OVERTURNING MOMENT CROSSED BRIDGE AXIS(KG-CM)
C      OVEMOC=WINFUC*HWINFUC+WINFSC*HWINFSC+WINFPC*HWINFPC
C      **WATFFC*HWATFFC
C CALCULATION OF OVERTURNING MOMENT DIRECTED BRIDGE AXIS(KG-CM)
C      OVEMOD=WINFSD*HWINFSD+WINFPD*HWINFPD
C
C CALCULATION OF LOAD BY UPPER STRUCTURE AND WATER
C
C CROSS SECTION OF UPPER STRUCTURE(SQ.CM)
C      AREAFP=2.0*(UUIH+UTH-UHW+UHH+(UWD+2.0*UX(1)+UX(2)-
C      *2.0*UUIH*(UX(1)-UHW)
C UNIFORM LOAD BY THE SELF WEIGHT OF UPPER STRUCTURE(KG/CM)
C      UNILDU=AREAU*GAMAC
C UNIFORM LOAD BY THE WEIGHT OF WATER(KG/CM)
C      UNILDW=(UWL+UWD-UHW+UHH)*GAMAW
C TOTAL UNIFORM LOAD(KG/CM)
C      TOTUNL=UNILDU+UNILDW
C DEAD LOAD REACTION BY UPPER STRUCTURE(KG)
C      DEDREA=SPAN*TOTUNL
C CONCRETE VOLUME SOAKED IN WATER
C      VOLCNSP=X(1)*X(2)*HOP
C BUOYANT FORCE(KG)
C      BUOFOR=GAMAW*(VOLCNSP+VOLCONF)
C THE MAXIMUM FORCE APPLIED TO THE BOTTOM OF FOOTING(KG)
C      FORMAX=1.4*(DEDREA+TOTCON+GAMAC)
C THE MAXIMUM FORCE APPLIED ON THE FOOTING(KG)
C      FORONF=1.4*(DEDREA*(VOLCONS+VOLCONN+VOLCONP)+GAMAC)
C      IF(FORONF<EQ.0.0)FORONF=0.001
C
C DESIGN OF PIER
C
C CLASSIFY COLUMNS(SHORT COLUMN OR LONG COLUMN)
C
C IN CASE OF KLU/R>22
C      PU=FORONF
C THE VALUE OF K
C      FK=FK4
C      PIELEN=HOP
C CROSSED BRIDGE AXIS
C      PIC=X(2)*X(1)**3/12.0
C      PAC=X(2)*X(1)
C      PR=SQRT(PIC/PAC)
C      DISTN=FK*PIELEN/PR

```

```

C CALCULATION OF MAGNIFICATION MOMENT COEFFICIENT(DELTA)
C      ELASTIC=15000.0*SQRT(SIGMCK)
C      PC=(FAI**2)*ELASTIC*PIC/(FK*PIELEN)**2
C      DELTAS=1.0/(1.0-PC/(FAIC*PC))
C      IF(DELTA>SLT.1)DELTA=SLT.1
C
C CALCULATION OF EQUILIBRIUM ECCENTRICITY (EB)
C
C      EFFDEP=X(1)-PIEPRM
C      IF(EFFDEP<EQ.0.0)EFFDEP=0.001
C      CB=6/20.0*EFFDEP/(6/20.0-SIGMAY)
C      AB=CKI*CB
C      AS=3.0*(X(6)/8.0
C      ASPRIM=3.0*(X(6)/8.0
C      DDBLPR=X(1)/2.0-PIEPRM
C      PB=0.85*SIGMCK*AB*X(2)-SIGMAY*ASPRIM-SIGMAY*AS
C      IF(PB<EQ.0.0)PB=0.001
C      OMOMB=0.85*SIGMCK*AB*X(1)-(EFFDEP-DDBLPR-AB/2.0)
C      **SIGMAY*ASPRIM+(EFFDEP-PIEPRM-DDBLPR)
C      **SIGMAY*AS+DDBLPR
C
C      EB=OMOMB/PB
C CALCULATION OF ECCENTRICITY (E)
C      E=OVEMOC/FORONF
C      IF(DISTNGT<22.0)E=E*DELTA
C      IF(LELT<EB)GO TO 30
C CALCULATION OF DESIGN AXIAL STRENGTH
C      FM=SIGMAY*(SIGMCK*0.85)
C      P=AS*(X(2)+EFFDEP)
C      PPRIM=ASPRIM*(X(2)+EFFDEP)
C      B=X(2)
C      IF(PIELEN<E+EFFDEP-H/2.0)
C      ROOTIN=(1.0-EPRIM/EFFDEP)**2-2.0*PPRIM*FM
C      **((1.0-PIEPRM/EFFDEP)
C      FAIPN=FAIC*(0.85*SIGMCK*B+EFFDEP*
C      *(1.0-EPRIM/EFFDEP+SQRT(ROOTIN)))
C      GO TO 30
C IN CASE OF E<EB
C 20 CONTINUE
C      PAREN1=SIGMAY*ASPRIM/(E/(EFFDEP-PIEPRM)+0.5)
C      PAREN2=B+H*SIGMCK/(3.0*H+E/(EFFDEP**2-1.18))
C      FAIPN=FAIC*(PAREN1+PAREN2)
C 30 CONTINUE
C      IF(FAIPN<EQ.0.0)FAIPN=0.001
C CONSTRAINTS FOR AXIAL FORCE
C      GG1=PU-FAIPN/ABS(FAIPN)
C
C DESIGN OF FOOTING
C
C CALCULATION OF BEARING CAPACITY
C      ARFOOT=4.0*(X(4)+X(5)
C      TOLOAD=FORMAX/1.3
C      BEARIN=TOLOAD/ARFOOT
C CONSTRAINTS FOR BEARING CAPACITY OF GROUND
C      G(3)=BEARIN-ARFOOT/ABS(ARFOOT)
C CALCULATION OF BENDING MOMENT AT A-A AND B-B SECTION
C OF FOOTING
C DIRECTED BRIDGE AXIS
C      BENMOA=BEARIN*UNLEN*(X(4)-X(1))/2.0**2/2.0
C CROSSED BRIDGE AXIS
C      BENMOB=BEARIN*UNLEN*(X(5)-X(2))/2.0**2/2.0
C CALCULATION OF NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
C EFFECTIVE DEPTH OF FOOTING
C      EFFDFT=X(3)-HSF-TI*PRM-DIAMETER/2.0
C      IF(EFFDFT<EQ.0.0)EFFDFT=0.001
C STEEL RATIO IN FOOTING DIRECTED BRIDGE AXIS AND
C CROSSED BRIDGE AXIS
C      STRATA=X(10)/EFFDFT/UNLEN
C      STRATB=X(9)/EFFDFT/UNLEN
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
C      FMFTA=FAIM*STRATA+SIGMAY*UNLEN*EFFDFT**2
C      **((1.0-0.59*STRATB)*SIGMAY/SIGMCK)
C      FMFTB=FAIM*STRATB+SIGMAY*UNLEN*EFFDFT**2
C      **((1.0-0.59*STRATB)*SIGMAY/SIGMCK)
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH IN FOOTING
C      IF(FMFTA<EQ.0.0)FMFTA=0.001
C      IF(FMFTB<EQ.0.0)FMFTB=0.001
C      G(3)=BENMOA-FMFTA/ABS(FMFTA)
C      G(4)=BENMOB-FMFTB/ABS(FMFTB)
C CALCULATION OF BENDING MOMENT AT A-A AND B-B SECTION
C TO CALCULATE TOP STEEL AREA OF FOOTING
C
C LOAD BY THE WEIGHT OF SOIL ON FOOTING
C
C      SOVLTA1=HOS*(X(4)-X(1))/2.0*UNLEN
C      SOVLTA2=HSF*(X(4)-X(1))/2.0*UNLEN/2.0
C      SOVLTA=SOVLTA1+SOVLTA2
C      SOLDTA=1.4*SOVLTA*GAMAC
C
C      SOVLTB1=HOS*(X(5)-X(2))/2.0*UNLEN
C      SOVLTB2=HSF*(X(5)-X(2))/2.0*UNLEN/2.0
C      SOVLTB=SOVLTB1+SOVLTB2
C      SOLDTB=1.4*SOVLTB*GAMAC
C LOAD BY THE WEIGHT OF WATER ON FOOTING
C      WTVLTA=(HOF-HOS)*(X(4)-X(1))/2.0*UNLEN
C      WTLDTA=1.4*WTVLTA*GAMAW
C
C      WTVLTB=(HOF-HOS)*(X(5)-X(2))/2.0*UNLEN
C      WTLDTB=1.4*WTVLTB*GAMAW
C
C      FOTLDA=SOLDTA+WTLDTA
C      FOTLDB=SOLDTB+WTLDTB
C BENDING MOMENT
C      BENMOAT=FOTLDA*(X(4)-X(1))/2.0/2.0
C      BENMOBT=FOTLDB*(X(5)-X(2))/2.0/2.0
C STEEL RATIO DIRECTED BRIDGE AXIS AND CROSSED
C BRIDGE AXIS
C      STRTAT=X(7)/EFFDFT/UNLEN
C      STRTBT=X(8)/EFFDFT/UNLEN
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
C      FMFTAT=FAIM*STRTAT+SIGMAY*UNLEN*EFFDFT**2
C      **((1.0-0.59*STRTAT)*SIGMAY/SIGMCK)
C
C      FMFTBT=FAIM*STRTBT+SIGMAY*UNLEN*EFFDFT**2
C      **((1.0-0.59*STRTBT)*SIGMAY/SIGMCK)
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH FOR TOP STEEL

```

```

C AREA OF FOOTING
IF(FMFTAT.EQ.0.0)/FMFTAT=0.001
IF(FMFTBT.EQ.0.0)/FMFTBT=0.001
G(5)=(BENMOAT-FMFTAT)/ABS(FMFTAT)
G(6)=(BENMOBT-FMFTBT)/ABS(FMFTBT)
C
C CALCULATION OF SHEAR FORCE
TEMP=X(3)+HSF-TFIPRM
SU=BEARIN*(4.0-X(4)-X(5)-(X(1)-TEMP)
**X(2)-TEMP)
C CALCULATION OF NOMINAL SHEAR STRENGTH(FAISC)
BP=2.0*(X(1)-X(2)-2.0*TEMP)
BETAC=X(5)/X(4)
IPX(4).G.T.X(5)/BETAC=X(4)/X(5)
G(7)=(BETAC-2.0)/ABS(2.0)
SHDEP=X(3)-(X(4)-TEMP)+HSF/X(4)
SC=0.27*(2.0-4.0/BETAC)+BP*SHDEP*SQRT(SIGMCK)
SCMAX=1.1*BP*SHDEP*SQRT(SIGMCK)
IF(SC.GT.SCMAX)/SC=SCMAX
FAISC=0.8*SC
IF(FAISC.EQ.0.0)/FAISC=0.001
G(8)=(SU-FAISC)/ABS(FAISC)
C
C CONSTRAINTS FOR BEARING STRENGTH
C
C DESIGN BEARING STRENGTH OF COLUMN
ARCOLM=X(1)*X(2)
BDC=FAIBER*0.85*SIGMCK*ARCOLM
C DESIGN BEARING STRENGTH OF FOOTING
ARFOOT=4.0*X(4)*X(5)
ARRATO=ARFOOT/ARCOLM
ALFAB=SQRT(ARRATO)
IF(ALFAB.GT.2.0)/ALFAB=2.0
BDF=ALFAB*FAIBER*0.85*SIGMCK*ARCOLM
C
C CONSTRAINTS FOR MINIMUM AREA OF PIER SECTION
AREAPI=X(1)*X(2)
AREAMN=606.0
G(11)=(AREAMN-AREAPI)/ABS(AREAMN)
C CONSTRAINTS FOR MINIMUM STEEL RATIO AND MAXIMUM
C STEEL RATIO
STLMIN=0.01
STLMAX=0.08
STLRAP=X(6)/(X(1)*X(2))
G(12)=(STLMIN-STLRAP)/ABS(STLMIN)
G(13)=(STLRAP-STLMAX)/ABS(STLMAX)
C
C RETURN
END

```

암 거

```

C
C *****
C OPTIMUM DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BOX CULVERT
C
C PROGRAM : RCLUV.F
C
C PROGRAMMER : KIM, JONG OK
C
C UNIT : KG, CM, KG/CU.CM , KG/SQ.CM, KG-CM
C *****
C
C DIMENSION X(6),XL(6),XU(6),G(60),WK(4000),IWK(1500),
*RP(20),IP(20)
C
C DEFINE NRWK,NRIWK
NRWK=4000
NRIWK=1500
C DEFINE METHOD,NDV,NCON
METHOD=1
C 6 DESIGN VARIABLES
NDV=6
C 52 CONSTRAINTS
NCON=52
C
C STARTING POINT
C
C DESCRIPTION OF DESIGN VARIABLES
C X(1) : THICKNESS OF WALL
C X(2) : THICKNESS OF BOTTOM SLAB
C X(3) : THICKNESS OF UPPER SLAB
C X(4) : MAIN STEEL AREA IN UPPER SLAB PER UNIT LENGTH
C X(5) : MAIN STEEL AREA IN BOTTOM SLAB PER UNIT LENGTH
C X(6) : MAIN STEEL AREA IN SIDE WALL PER UNIT LENGTH
C
C *** INPUT INITIAL DESIGN VARIABLES ***
C
C X(1)=30.0
C X(2)=30.0
C X(3)=30.0
C X(4)=20.27
C X(5)=20.27
C X(6)=20.27
C
C DESIGN BOUNDS
C
C LOWER BOUNDS
C
C XL(1)=10.0
C XL(2)=10.0
C XL(3)=10.0
C XL(4)=0.0
C XL(5)=0.0
C XL(6)=0.0
C
C UPPER BOUNDS
C
C XU(1)=500.0
C XU(2)=500.0
C XU(3)=500.0
C XU(4)=500.0
C XU(5)=500.0
C XU(6)=500.0
C
C DEFINE IPRINT,MINMAX,INFO
C
C PRINT CONTROL
IPRINT=3
C MINIMIZE
MINMAX=-1
C INITIALIZE INFO TO ZERO
INFO=0
C OPTIMIZE
C ZERO RPRM AND IP(20)
DO 10 I=1,20
RPRM(I)=0.0
10 IP(20)=0.0
C
C 100 CALL DOT(INFO,METHOD,IPRINT,NDV,NCON,X,XL,XU,
*OBJ,MINMAX,G,RPRM,IPRM,WK,NRWK,IWK,NRIWK)
C FINISHED ?
IF(INFO.EQ.0)/GO TO 1000
C
C EVALUATE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS
C
C CALL EVAL(OBJ,X,G)
C GO CONTINUE WITH OPTIMIZATION.
GO TO 100
1000 CONTINUE
C
C STOP
END
C
C SUBROUTINE EVAL(OBJ,X,G)
C
C DIMENSION X(6),G(53),AMAB(4),AMBA(4),AMBC(4),AMAD(4),
*HX(10),WX(2),BMSIDE(4,10),BMUSLB(4,10),BMLSLB(4,10),
*SHESL1(4),SHEUSL2(4),SHEL1(4),SHEL2(4),SHSID(4,10),
*CBMSLB(10),CBMSLB(10),CBMSID(10),CSHSID(10),ECCWL(8),AXISID
*PVIT(4),PHIT(4),PHET(4),PVZT(4),CAB(4),CBC(4),CBA(4),CCD(4),
*CBC(4),CCB(4),CAD(4),CDA(4),THETAO(4),THETAB(4),THETAA(4),
*THETAB(4),THETAC(4),THETAD(4),AMCB(4),AMDA(4)
C
C *****
C * PARAMETERS *
C *****
C
C *** INPUT THE VALUES OF PARAMETERS ***
C
C DESIGN INSIDE WIDTH
B=250.0
C DESIGN INSIDE HEIGHT
Y=250.0

```

```

C DEPTH OF SOIL FROM SURFACE TO CULVERT
  HCUL=300.0
C ASPHALT PAVEMENT THICKNESS
  HPAV=30.0
C UNIT WEIGHT OF ASPHALT(KG/CU.CM)
  GAMAA=2.3E-3
C UNIT WEIGHT OF CONCRETE(KG/CU.CM)
  GAMAC=2.3E-3
C WET UNIT WEIGHT OF SOIL(KG/CU.CM)
  GAMAT=1.8E-3
C SATURATED UNIT WEIGHT OF SOIL(KG/CU.CM)
  GAMASAT=2.0E-3
C INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL(DEGREE)
  DEGREE=30.0
C DESIGN CRITERION STRENGTH OF CONCRETE(KG/SQ.CM)
  SIGMCK=240.0
C YIELDING STRENGTH OF REINFORCING STEEL(KG/SQ.CM)
  SIGMAY=3000.0
C UNDERGROUND WATER LEVEL FROM PAVEMENT SURFACE(CM)
  HWAT=200.0
C HEIGHT OF HUNCH (CM)
  B1=15.0
C WIDTH OF HUNCH (CM)
  B2=15.0
C
C GROUND CONDITION
C NSG=1 : HARD GROUND
C NSG=2 : SOFT GROUND
C INPLT THE INDEX OF NSG
  NSG=1
C
C STEEL COVER (CM)
  SLBPRM=5.0
  BOTPRM=7.0
  WALPRM=5.0
C
C IF LOAD = 1:DB-24, 2:DB-18, 3:DB-13.5
C PLEASE SELECT DB-LOAD
  LOAD=1
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR FLEXURE
  FA1M=0.85
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR SHEAR STRENGTH
  FA1V=0.7
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR COLUMN
  FACOL=0.65
C
C *** FOR OBJECTIVE FUNCTION ***
C
C REFERENCES : THE INFORMATION ON COMMODITY PRICE(THE FIRST
              AND SECOND BOOK),FEBRUARY,1999.
C
C UNIT PRICE OF CONCRETE, REINFORCING STEEL AND FORM WORKS
C CONCRETE : MATERIAL : 57.600 WON/CU.METER
              LABOR EXPENSES : 20.090 WON/CU.METER
              TOTAL : 77.690 WON/CU.METER
C REINFORCING STEEL : MATERIAL : 334.461 WON/TON
                    LABOR EXPENSES : 321.819 WON/TON
                    TOTAL : 656.280 WON/TON
C FORM WORKS : MATERIAL : 9.592 WON/SQ.METER
              LABOR EXPENSES : 18.366 WON/SQ.METER
              TOTAL : 27.958 WON/SQ.METER
C
C PARAMETERS FOR UNIT PRICE
C
C *** INPUT THE UNIT PRICES OF MATERIAL AND LABOR ***
C UNICON=77690.0
C UNISTL=656280.0
C UNIFOM=27958.0
C
C UNIT WEIGHT OF REINFORCING STEEL
C UNIT WEIGHT OF STEEL = 0.0078546 KG/CU.CM
                    = 7854.6 KG/CU.METER
                    = 7.8546 TON/CU.METER
C
C STELWT=7.8546
C
C *****
C # THE END OF PARAMETERS #
C *****
C
C UNIT CONVERSION FROM METER TO CENTIMETER(1M=100.0CM)
  UNLEN=100.0
C THE RATIO OF THE CIRCUMFERENCE OF A CIRCLE TO ITS DIAMETER
  PAI=3.14159
C INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL(RADIAN)
  FAI=PAI*DEGREE/180.0
C
C DESIGN LIVE LOAD : DB 24
C DESIGN METHOD : ULTIMATE STRENGTH DESIGN
C
C OBJECTIVE FUNCTION
C
C OBJ=(X(1)+(Y-X(2)-X(3))*2.0*B*(X(2)-X(3))-2.0*B1*B2)*UNICON+UNILEN
  *100000.0-((X(4)-X(5))*(B-2.0*X(1))-2.0*WALPRM)*X(6)+(Y-X(2)-X(3))
  *SLBPRM-BOTPRM)*2.0*(STELWT*UNISTL/1000000.0
  *(2.0*(Y-X(2)-X(3))-2.0*(B-2.0*B2)-(Y-2.0*B1))
  *-SQRT(B1**2-B2**2)+2*4.0*UNILEN*UNIFOM/10000.0
C
C *** STRUCTURAL ANALYSIS ***
C
C INSIDE WIDTH FOR CALCULATION
  BC=B-X(1)
C INSIDE HEIGHT FOR CALCULATION
  YC=Y-X(2)-X(3)/2.0
C OUTSIDE WIDTH FOR CALCULATION
  WO=B-2.0*X(1)
C TOTAL HEIGHT
  HD=HCUL-X(3)-Y-X(2)/2.0
C DEFINE THE VERTICAL SOIL PRESSURE COEFFICIENT
  NSG = 1 : HARD GROUND

```

```

C NSG = 2 : SOFT GROUND
  RANGE = HCUL*WO
  GO TO(100,110)NSG
C
100 IF(RANGE<1.0)ALPA=1.0
   IF(RANGE<1.0)AND(RANGE<2.0)ALPA=1.2
   IF(RANGE<2.0)AND(RANGE<3.0)ALPA=1.35
   IF(RANGE<3.0)AND(RANGE<4.0)ALPA=1.5
   IF(RANGE<4.0)ALPA=1.6
C
GO TO 120
110 ALPA=1.0
120 CONTINUE
C
C *** CALCULATION OF LOAD ***
C
C DEAD LOAD
C
C WEIGHT OF PAVEMENT (KG/SQ.CM)
  PD1=ALPA*GAMAA*HPAV
C SOIL WEIGHT ON GROUND WATER LEVEL (KG/SQ.CM)
  PD2=ALPA*GAMAT*(HWAT-HPAV)
C SOIL WEIGHT UNDER GROUND WATER LEVEL (KG/SQ.CM)
  PD3=ALPA*GAMASAT*(HCUL-X(3)/2.0-HWAT)
C WEIGHT OF UPPER SLAB (KG/SQ.CM)
  PD4=GAMAC*(X(3)+WO-B1-B2)/BC
C WEIGHT OF SIDE WALL (KG/SQ.CM)
  PD5=2.0*GAMAC*(Y-X(2))*X(1)/BC
C
C LIVE LOAD
C
C DB-LOAD
  FP24=2.4
  FP18=1.8
  FP13=1.3
  RP24=0.6
  RP18=7.2
  RP13=5.4
C
GO TO (200,210,220)LOAD
200 FDBLOD=FP24
   RDBLOD=RP24
   GO TO 230
210 FDBLOD=FP18
   RDBLOD=RP18
   GO TO 230
220 FDBLOD=FP13
   RDBLOD=RP13
230 CONTINUE
C
C IMPACT COEFFICIENT
C
IF(HCUL<15.0)AND(HCUL<100.0)COIMPT=0.3
IF(HCUL<100.0)AND(HCUL<200.0)COIMPT=0.2
IF(HCUL<200.0)AND(HCUL<300.0)COIMPT=0.1
IF(HCUL<300.0)COIMPT=0.0
C
C LIVE LOAD ON UPPER SLAB
C
IF(HCUL<400.0)GO TO 310
C
BB=BC/100.0
WIDL0D=0.2+2.0*HCUL/100.0
C THE UNIT OF UNIFORM LOAD : KG/SQ.CM
IF(BB<GE.WIDL0D)GO TO 300
WL=2.0*RDBLOD*(1.0-COIMPT)/3.0/WIDL0D
WI=WL/100
GO TO 320
300 WL=4.0*RDBLOD*(1.0-COIMPT)*(BB-HCUL/100.0+1)
   WI=WL/30.0+BB**2
GO TO 320
310 WL=0.1
320 CONTINUE
C
C SIDE LIVE LOAD
  SIDL0D=0.05
C
C LIVE LOAD ON BOTTOM SLAB
C
IF(HCUL<400.0)GO TO 410
C
IF(BB<GE.WIDL0D)GO TO 400
QBL=(2.0*RDBLOD*(1.0-COIMPT)/3.0/WIDL0D)+0.8
QBL=QBL/100
GO TO 420
400 QBL=(2.0*RDBLOD*(1.0-COIMPT)/3.0/BB)+0.8
   QBL=QBL/100
GO TO 420
410 QBL=0.08
420 CONTINUE
C
C *** ADDITION OF LOADS (FACTORED LOAD) ***
C
C *** NOTATIONS ***
C PV1T : VERTICAL LOAD ON UPPER SLAB
C PH1T : HORIZONTAL SOIL PRESSURE AT THE TOP OF SIDE WALL
C PH2T : HORIZONTAL SOIL PRESSURE AT THE BOTTOM OF SIDE WALL
C PV2T : VERTICAL LOAD ON BOTTOM SLAB
C
C IN CASE OF THE THICKNESS OF SOIL IS UNDER 40 METER
C (1) : TOTAL SOIL PRESSURE AND MAX. MOMENT IN SPAN
C (2) : TOTAL SOIL PRESSURE AND MAX. MOMENT IN SIDE WALL
C (3) : HALF SOIL PRESSURE AND MAX. MOMENT IN SPAN
C (4) : HALF SOIL PRESSURE AND MAX. MOMENT IN SIDE WALL
C
C IN CASE OF THE THICKNESS OF SOIL IS OVER 40 METER
C (1) : TOTAL SOIL PRESSURE
C (2) : HALF SOIL PRESSURE
C
C SOIL PRESSURE COEFFICIENT
  COSOIL=1-SIN(FAI)
C
  QHL=0.06

```

```

C IF(HCULGT.400.0)GO TO 500
C
C PV1T(1)=1.8*WL-1.5*(PD1-PD2-PD3-PD4)
C PV1T(2)=PV1T(1)
C PV1T(3)=PV1T(1)
C PV1T(4)=PV1T(1)
C
C PH1T(1)=COSOIL*1.8*(WL-GAMAA*HPAV-GAMAT*(HWAT-HPAV)
C *-GAMASAT*(HCUL-HWAT*X(3)/2.0))
C PH1T(2)=PH1T(1)-1.8*QHL
C PH1T(3)=PH1T(1)/2.0
C PH1T(4)=PH1T(2)/2.0
C
C PH2T(1)=COSOIL*1.8*(WL-GAMAA*HPAV-GAMAT*(HWAT-HPAV)
C *-GAMASAT*(HD-HWAT))
C PH2T(2)=PH2T(1)-1.8*QHL
C PH2T(3)=PH2T(1)/2.0
C PH2T(4)=PH2T(2)/2.0
C
C PV2T(1)=PV1T(1)-1.5*PD5+1.8*QBL
C PV2T(2)=PV2T(1)
C PV2T(3)=PV2T(1)
C PV2T(4)=PV2T(1)
C
C GO TO 600
C
C IN CASE OF THE THICKNESS OF SOIL IS OVER 4.0 METER
500 PV1T(1)=1.8*WL-1.5*(PD1-PD2-PD3-PD4)
C PV1T(2)=PV1T(1)
C PV1T(3)=0.0
C PV1T(4)=0.0
C
C PH1T(1)=COSOIL*1.8*(WL-GAMAA*HPAV-GAMAT*(HWAT-HPAV)
C *-GAMASAT*(HCUL-HWAT*X(3)/2.0))-1.8*QHL
C PH1T(2)=PH1T(1)/2.0
C PH1T(3)=0.0
C PH1T(4)=0.0
C
C PH2T(1)=COSOIL*1.8*(WL-GAMAA*HPAV-GAMAT*(HWAT-HPAV)
C *-GAMASAT*(HD-HWAT))-1.8*QHL
C PH2T(2)=PH2T(1)/2.0
C PH2T(3)=0.0
C PH2T(4)=0.0
C
C PV2T(1)=PV1T(1)-1.5*PD5-1.8*QBL
C PV2T(2)=PV2T(1)
C PV2T(3)=0.0
C PV2T(4)=0.0
C
C 600 CONTINUE
C
C UNIT CONVERSION FROM KG/SQ.CM TO KG/CM
C
C DO 610 I=1,4
C PV1T(I)=PV1T(I)*UNILEN
C PH1T(I)=PH1T(I)*UNILEN
C PH2T(I)=PH2T(I)*UNILEN
C PV2T(I)=PV2T(I)*UNILEN
C 610 CONTINUE
C
C CALCULATION OF BENDING MOMENT AND SHEAR FORCE BY SLOPE
C DEFLECTION EQUATION
C
C CALCULATION OF MOMENT OF INERTIA
C
C AIAB=UNILEN*X(1)**3/12.0
C AIBC=UNILEN*X(3)**3/12.0
C AIAD=UNILEN*X(2)**3/12.0
C
C WIDTH AND HEIGHT FOR THE CALCULATION OF STIFFNESS COEFFICIENT
C AND RELATIVE STIFFNESS
C
C STHIT=X*X(2)/2.0-X(3)/2.0
C STWID=B*X(1)
C
C EQUHIT=STHIT/9.0
C EQUWID=STWID/9.0
C
C DO 620 I=1,10
C HX(I)=(I-1)*EQUHIT
C WX(I)=(I-1)*EQUWID
C 620 CONTINUE
C
C CALCULATION OF STIFFNESS COEFFICIENT
C
C AKAB=AIAB/STHIT
C AKBC=AIBC/STWID
C AKAD=AIAD/STWID
C
C CALCULATION OF RELATIVE STIFFNESS
C
C RKAB=1.0
C RKBA=RKAB
C RKBC=AKBC/AKAB
C RKAD=AKAD/AKAB
C
C DO 700 I=1,4
C CALCULATION OF LOAD TERM
C CAB(I)=(STHIT**2)*(2.0*PH1T(I)-3.0*PH2T(I))/60.0
C CCB(I)=CAB(I)
C CBA(I)=(STHIT**2)*(3.0*PH1T(I)-2.0*PH2T(I))/60.0
C CCD(I)=CBA(I)
C CBC(I)=PV1T(I)*STWID**2/12.0
C CCB(I)=CBC(I)
C CAD(I)=PV2T(I)*STWID**2/12.0
C CDA(I)=CAD(I)
C
C CALCULATION OF THETA A AND THETA B
C
C UNDER=(2.0-RKBC)*(2.0-RKAD)-1.0
C THETA A(I)=(2.0-RKBC)*(CAB(I)-CAD(I))-(CBC(I)-CBA(I))
C THETA B(I)=(2.0-RKAD)*(CBC(I)-CBA(I))-(CAB(I)-CAD(I))
C
C THETA A(I)=THETA A(I)/UNDER
C THETA B(I)=THETA B(I)/UNDER
C THETA C(I)=(1.0)-THETA B(I)
C THETA D(I)=(1.0)-THETA A(I)

```

```

C CALCULATION OF END MOMENT
C
C AMAB(I)=RKAB*(2.0-THETA A(I)-THETA B(I))-CAB(I)
C AMBA(I)=RKBA*(2.0-THETA B(I))-THETA A(I))-CBA(I)
C AMBC(I)=RKBC*(2.0-THETA B(I)-THETA C(I))-CBC(I)
C AMAD(I)=RKAD*(2.0-THETA A(I)-THETA D(I))-CAD(I)
C AMCB(I)=(-1.0)*AMBC(I)
C AMDA(I)=(-1.0)*AMAD(I)
C
C BENDING MOMENT IN UPPER SLAB,BOTTOM SLAB AND SIDE WALL
C
C DO 630 J=1,10
C BMSIDE(I,J)=(2.0*PH2T(I)-PH1T(I))*STHIT-HX(J)/6.0-PH2T(I)
C *HX(J)**2/2.0-(PH2T(I)-PH1T(I))*HX(J)**3/6.0/STHIT-AMAB(I)
C *(STHIT-HX(J))/STHIT-AMBA(I)*HX(J)/STHIT
C
C BMUSLB(I,J)=PV1T(I)*(STWID-WX(J))+WX(J)/2.0-AMBC(I)
C BMLSBL(I,J)=PV2T(I)*(STWID-WX(J))+WX(J)/2.0-AMAD(I)
C 630 CONTINUE
C
C SHEAR FORCE IN UPPER SLAB,BOTTOM SLAB AND SIDE WALL
C
C SHEAR FORCE ON UPPER SLAB CORNER
C SHEUSL1(I)=PV1T(I)*STWID/2.0-(AMBC(I)-AMCB(I))/STWID
C AT THE END OF HUNCH
C HUNLEN=X(I)/2.0-B2
C SHEUSL2(I)=SHEUSL1(I)-PV1T(I)*HUNLEN
C SHEAR FORCE ON BOTTOM SLAB CORNER
C SHELSL1(I)=(-1.0)*PV2T(I)*STWID/2.0
C *(AMAD(I)-AMDA(I))/STWID
C AT THE END OF HUNCH
C SHELSL2(I)=SHELSL1(I)-PV2T(I)*HUNLEN
C
C SHEAR FORCE IN SIDE WALL
C
C DO 640 J=1,10
C SHSID(I,J)=(2.0*PH2T(I)-PH1T(I))*STHIT/6.0
C *PH2T(I)*HX(J)-(PH2T(I)-PH1T(I))*HX(J)**2/2.0/STHIT
C *(AMAB(I)-AMBA(I))/STHIT
C 640 CONTINUE
C 700 CONTINUE
C
C CHANGE THE VALUE OF BENDING MOMENT AND SHEAR FORCE TO
C ABSOLUTE VALUE
C
C DO 710 I=1,4
C DO 709 J=1,10
C BMSIDE(I,J)=ABS(BMSIDE(I,J))
C BMUSLB(I,J)=ABS(BMUSLB(I,J))
C BMLSBL(I,J)=ABS(BMLSBL(I,J))
C SHSID(I,J)=ABS(SHSID(I,J))
C 709 CONTINUE
C 710 CONTINUE
C
C DO 720 I=1,4
C SHEUSL1(I)=ABS(SHEUSL1(I))
C SHEUSL2(I)=ABS(SHEUSL2(I))
C SHELSL1(I)=ABS(SHELSL1(I))
C SHELSL2(I)=ABS(SHELSL2(I))
C 720 CONTINUE
C
C SEARCH THE MAXIMUM BENDING MOMENT,SHEAR FORCE AT EACH
C POINT AMONG 4-KINDS OF LOAD COMBINATION
C
C DO 740 J=1,10
C CBMUSLB(I,J)=BMUSLB(I,J)
C CBMLSBL(I,J)=BMLSBL(I,J)
C CBMSIDE(I,J)=BMSIDE(I,J)
C CSHSID(I,J)=SHSID(I,J)
C
C DO 730 I=2,4
C IF(CBMUSLB(I,J).LT.BMUSLB(I,J))CBMUSLB(I,J)=BMUSLB(I,J)
C IF(CBMLSBL(I,J).LT.BMLSBL(I,J))CBMLSBL(I,J)=BMLSBL(I,J)
C IF(CBMSIDE(I,J).LT.BMSIDE(I,J))CBMSIDE(I,J)=BMSIDE(I,J)
C IF(CSHSID(I,J).LT.SHSID(I,J))CSHSID(I,J)=SHSID(I,J)
C 730 CONTINUE
C 740 CONTINUE
C
C CSHEUSL1=SHEUSL1(I)
C CSHEUSL2=SHEUSL2(I)
C CSHELSL1=SHELSL1(I)
C CSHELSL2=SHELSL2(I)
C
C DO 750 I=2,4
C IF(CSHEUSL1.LT.SHEUSL1(I))CSHEUSL1=SHEUSL1(I)
C IF(CSHEUSL2.LT.SHEUSL2(I))CSHEUSL2=SHEUSL2(I)
C IF(CSHELSL1.LT.SHELSL1(I))CSHELSL1=SHELSL1(I)
C IF(CSHELSL2.LT.SHELSL2(I))CSHELSL2=SHELSL2(I)
C 750 CONTINUE
C
C *** CONSTRAINTS ***
C
C DESIGN OF UPPER SLAB
C
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH
C
C EFFECTIVE DEPTH OF UPPER SLAB
C EFFTHU=X(3)-SLBPRM
C STEEL RATIO
C PPU=X(4)/UNILEN/EFFTHU
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH OF UPPER SLAB
C FAIMNU=FAIM*PPU/SIGMAY/SIGMCK
C *(1.0-0.59*PPU/SIGMAY/SIGMCK)
C
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH OF UPPER SLAB
C
C IF(FAIMNU.EQ.0.0)FAIMNU=0.001
C DO 800 I=1,10
C G(I)=(CBMUSLB(I)-FAIMNU)/ABS(FAIMNU)
C 800 CONTINUE
C
C MINIMUM REINFORCING STEEL RATIO OF UPPER SLAB
C FMIN=14.0/SIGMAY
C CONSTRAINT FOR MINIMUM STEEL RATIO
C G(I)=(G(I)-FMIN)/ABS(FMIN)
C MAXIMUM REINFORCING STEEL RATIO

```

```

IF(SIGMCKLE.280.0)GO TO 805
BK1=(SIGMCK-280.0)/10.0
CK1=0.85-0.007*BK1
IF(CK1.LT.0.65)CK1=0.65
GO TO 806
805 CK1=0.85
806 CONTINUE
C BALANCE STEEL RATIO
PB=0.85*CK1+SIGMCK/6120.0/SIGMAY/(6120.0-SIGMAY)
PMAK=0.75*PB
C
C CONSTRAINT FOR MAXIMUM REINFORCING STEEL RATIO
C
G(12)=(PPU-PMAK)/ABS(PMAK)
C
C CONSTRAINTS FOR SHEAR STRENGTH
C
C AXIAL FORCE
AXIALFU=CSHSD(10)
AGU=UNILEN*X(3)
SCU=0.53*(1.0-0.007)*AXIALFU/AGU+SQRT(SIGMCK)*UNILEN
+EFFTHW
FAISNU=FAIV*SCU
IF(FAISNU.EQ.0.0)FAISNU=0.001
C
G(13)=(CSHEUSL1-FAISNU)/ABS(FAISNU)
G(14)=(CSHEUSL2-FAISNU)/ABS(FAISNU)
C
C DESIGN OF BOTTOM SLAB
C
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH
C
C EFFECTIVE DEPTH OF BOTTOM SLAB
EFFTHL=X(2)-BOTPRM
C
C STEEL RATIO
PPL=X(5)/UNILEN/EFFTHL
C
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH OF BOTTOM SLAB
FAIMNL=FAIM+PPL*SIGMAY*UNILEN+EFFTHL**2
+(1.0-0.59*PPL)*SIGMAY/SIGMCK
C
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH OF BOTTOM SLAB
C
IF(FAIMNLEQ.0.0)FAIMNL=0.001
DO 810 I=1,10
G(14-I)=(CBMLSLB(I)-FAIMNL)/ABS(FAIMNL)
810 CONTINUE
C
C CONSTRAINT FOR MINIMUM STEEL RATIO
G(25)=(PMIN-PPL)/ABS(PMIN)
C
C CONSTRAINT FOR MAXIMUM REINFORCING STEEL RATIO
C
G(26)=(PPL-PMAK)/ABS(PMAK)
C
C CONSTRAINTS FOR SHEAR STRENGTH
C
C AXIAL FORCE ON BOTTOM SLAB
AXIALFL=CSHSD(1)
AGL=UNILEN*X(2)
SCL=0.53*(1-0.007)*AXIALFL/AGL+SQRT(SIGMCK)
+UNILEN+EFFTHW
FAISNL=FAIV+SCL
C
IF(FAISNLEQ.0.0)FAISNL=0.001
G(27)=(CSHELSL1-FAISNL)/ABS(FAISNL)
G(28)=(CSHELSL2-FAISNL)/ABS(FAISNL)
C
C DESIGN OF SIDE WALL
C
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH
C
C EFFECTIVE DEPTH OF SIDE WALL
EFFTHW=X(1)-WALPRM
C
C STEEL RATIO
PPW=X(6)/UNILEN/EFFTHW
C
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH OF SIDE WALL
C
FAIMNW=FAIM+PPW*SIGMAY*UNILEN+EFFTHW**2
+(1.0-0.59*PPW)*SIGMAY/SIGMCK
C
C CONSTRAINT FOR FLEXURAL STRENGTH OF SIDE WALL
C
IF(FAIMNWEQ.0.0)FAIMNW=0.001
DO 820 I=1,10
G(28-I)=(CBMSIDE(I)-FAIMNW)/ABS(FAIMNW)
820 CONTINUE
C
C CONSTRAINT FOR MINIMUM STEEL RATIO
G(39)=(PMIN-PPW)/ABS(PMIN)
C
C CONSTRAINT FOR MAXIMUM REINFORCING STEEL RATIO
G(40)=(PPW-PMAK)/ABS(PMAK)
C
C CONSTRAINT FOR SHEAR STRENGTH
C
C AXIAL FORCE ON SIDE WALL
AXIALFW=CSHSL1
IF(CSHSL1.GT.CSHSL1)AXIALFW=CSHEUSL1
AGW=UNILEN*X(1)
SCW=0.53*(1-0.007)*AXIALFW/AGW+SQRT(SIGMCK)*
+UNILEN+EFFTHW
FAISNW=FAIV+SCW
C
IF(FAISNWEQ.0.0)FAISNW=0.001
DO 830 I=1,10
G(40-I)=(CSHSD(I)-FAISNW)/ABS(FAISNW)
830 CONTINUE
C
C CONSTRAINTS FOR AXIAL STRENGTH
C
DO 900 I=1,4
ECCWLU(I)=ABS(AMBA(I)/SHEUSL1(I))
ECCWL(I,I)=ABS(AMAB(I)/SHELSL1(I))
AXISID(I)=SHEUSL1(I)
AXISID(I,I)=SHELSL1(I)
900 CONTINUE
C
ECCWLU=ECCWLU(1)
DO 910 I=2,8
IF(ECCWLU.GT.ECCWLU(I))GO TO 910
ECCWLU=ECCWLU(I)

```

```

910 CONTINUE
C
PNU=AXISID(1)
DO 920 I=2,8
IF(PNU.GT.AXISID(I))GO TO 920
PNU=AXISID(I)
920 CONTINUE
AB=0.85*6120.0*EFFTHW/(6120.0-SIGMAY)
AS=X(6)
ASPRIM=AS
PB=0.85*SIGMCK*AB*UNILEN-SIGMAY*ASPRIM-SIGMAY*AS
RMB=0.85*SIGMCK*AB*UNILEN+(EFFTHW-WALPRM-AB/2.0)
+SIGMAY*ASPRIM*(X(1)/2.0-WALPRM)/SIGMAY*AS
+(EFFTHW-X(1)/2.0)
C
ECWLU=RMB/PB
C
IF(ECCWLU.LT.ECWLU)GO TO 930
C
EPRIMU=ECCWLU*(EFFTHW-X(1)/2.0)
RMU=SIGMAY/0.85/SIGMCK
ROOTINU=(1.0-EPRIMU/EFFTHW)**2.0*PPW*RMU
+(1.0-WALPRM/EFFTHW)
FAIPN=FAICOL*(0.85*SIGMCK*UNILEN+EFFTHW)
+(1.0-EPRIMU/EFFTHW)*SQRT(ROOTINU)
C
GO TO 940
930 UNDER1=ECCWLU/(EFFTHW-WALPRM)-0.5
UNDER2=3.0*X(1)*ECCWLU/(EFFTHW**2)+1.18
PN=SIGMAY*X(6)/UNDER1*UNILEN*X(1)+SIGMCK/UNDER2
FAIPN=FAICOL*PN
940 CONTINUE
C
IF(FAIPN.EQ.0.0)FAIPN=0.001
G(51)=(PNU-FAIPN)/ABS(FAIPN)
C
C CONSTRAINT FOR MINIMUM STEEL
C
C RATIO OF SIDE WALL
C
WSRMIN=0.0015
G(52)=(WSRMIN-PPW)/ABS(WSRMIN)
C
RETURN
END

```

```

*****
OPTIMUM DESIGN OF TUNNEL
PROGRAM : RTUNLF
PROGRAMMER : KIM, JONG OK
UNIT : TON, M, T/CUM, T/SQ.M, TON-M
*****
DIMENSION X(8),XL(8),XU(8),G(49),WK(4000),IWK(1500),
*RPFRM(20),LPRM(20)
C
C DEFINE NRWK,NRWK
NRWK=4000
NRWK=1500
C DEFINE METHOD,NDV,NCON
METHOD=1
C 8 DESIGN VARIABLES
NDV=8
C 49 CONSTRAINTS
NCON=49
STARTING POINT
DESCRIPTION OF DESIGN VARIABLES
X(1) : THICKNESS OF CROWN
X(2) : THICKNESS OF INVERT
X(3) : OUTER STEEL AREA PER METER OF LONGITUDINAL DISTANCE
OF TUNNEL AT CROWN
X(4) : INNER STEEL AREA PER METER OF LONGITUDINAL DISTANCE
OF TUNNEL AT CROWN
X(5) : OUTER STEEL AREA PER METER OF LONGITUDINAL DISTANCE
OF TUNNEL AT SIDE ARCH AND SIDE WALL
X(6) : INNER STEEL AREA PER METER OF LONGITUDINAL DISTANCE
OF TUNNEL AT SIDE ARCH AND SIDE WALL
X(7) : OUTER STEEL AREA PER METER OF LONGITUDINAL DISTANCE
OF TUNNEL AT INVERT
X(8) : INNER STEEL AREA PER METER OF LONGITUDINAL DISTANCE
OF TUNNEL AT INVERT
*** INPUT INITIAL DESIGN VARIABLES (UNIT : M,SQ.M) ***
X(1)=-0.2100
X(2)=-0.2300
X(3)=1.538E-4
X(4)=1.388E-3
X(5)=1.469E-3
X(6)=2.368E-4
X(7)=2.068E-4
X(8)=13.500E-4
DESIGN BOUNDS
LOWER BOUNDS
XL(1)=0.1000
XL(2)=0.1000
XL(3)=0.0000
XL(4)=0.0000
XL(5)=0.0000
XL(6)=0.0000
XL(7)=0.0000
XL(8)=0.0000
UPPER BOUNDS
XU(1)=5.0000
XU(2)=5.0000
XU(3)=5.0E-1
XU(4)=5.0E-1
XU(5)=5.0E-1
XU(6)=5.0E-1
XU(7)=5.0E-1
XU(8)=5.0E-1
C
C DEFINE IPRINT,MINMAX,INFO
C PRINT CONTROL
IPRINT=3
C MINIMIZE
MINMAX=-1
C INITIALIZE INFO TO ZERO
INFO=0
C OPTIMIZE
ZERO RPFRM AND IPRM
DO 10 I=1,20
RPFRM(I)=0.0
10 IPRM(I)=0
C
C CALL DOT(INFO,METHOD,IPRINT,NDV,NCON,X,XL,XU,
*OBJ,MINMAX,G,RPFRM,IPRM,WK,NRWK,IWK,NRWK)
C FINISHED ?
IF(INFO,EQ,0)GO TO 1000
EVALUATE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS.
CALL EVAL(OBJ,X,G)
GO CONTINUE WITH OPTIMIZATION.
GO TO 100
1000 CONTINUE
C
C STOP
END
C
C SUBROUTINE EVAL(OBJ,X,G)
DIMENSION X(8),G(49),STLLN(6),VOLSTL(10),SELFORD(5),
*COEFF(7,15),SFVAL(7,15),SMPORD(7),SMPOIS(7),
*THLIN(7),EFPDEF(7),STRAT(7),STRATO(7),PSTRAT(7),
*DEMOME(7),FAMN(7),DESHER(7),PIVNST(7),AG(7),AST(7),
*FAIPN(7),PMINI(7),PMINO(7)
C
C *****
C # PARAMETERS #
C *****
*** INPUT THE VALUES OF PARAMETERS ***
C UNIT WEIGHT OF SATURATED SOIL(T/CUM)
GAMAST=20
C UNIT WEIGHT OF CONCRETE(T/CUM)
GAMAC=25
C UNIT WEIGHT OF WATER(T/CUM)
GAMAW=10
C INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL (UNIT : DEGREE)
FAIDEG=20.0
C SOIL PRESSURE COEFFICIENT
SOPRCO=0.5
C DESIGN STRENGTH OF CONCRETE(KG/SQ.CM)
SIGMCK=240.0
C YIELDING STRENGTH OF REINFORCING STEEL(KG/SQ.CM)
SIGMAY=3000.0
C CONCRETE COVER THICKNESS OF CROWN(UNIT-M)
CRDPRM=0.06
C CONCRETE COVER THICKNESS OF INVERT(UNIT-M)
VEDPRM=0.06
C CONCRETE COVER THICKNEEE OF SIDE WALL(UNIT-M)
WLDPRM=0.06
C DIAMETER OF REINFORCING STEEL TO CALCULATE CONCRETE COVER
C (UNIT-M)
DIAMETER=0.0254
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR FLEXURE
FAIM=0.85
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR AXIAL FORCE
FAIP=0.65
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR SHEAR
FAIS=0.7
C LOAD FACTOR
FACDED=1.5
C DEPTH OF SOIL ON TUNNEL (UNIT : M)
DEPSOL=4.00
C RADIUS OF TUNNEL(UNIT-M)
R=1.300
C ANGLE OF INNER SIDE WALL (UNIT : DEGREE)
THETAD=24.2919
C THICKNESS OF C-LINE(UNIT-M)
THICKC=0.06
C THICKNESS OF B-LINE(UNIT-M)
THICKB=0.12
C CENTRAL ANGLE OF CONSTRUCTION JOINT (UNIT : DEGREE)
GAMAD=20.23
*** FOR OBJECTIVE FUNCTION ***
C REFERENCES : THE INFORMATION ON COMMODITY PRICE (THE FIRST AND
SECOND BOOK), FEBRUARY, 1999.
UNIT PRICE OF EXCAVATION, CONCRETE, REINFORCING STEEL AND FORM
WORK
C
C EXCAVATION OF TUNNEL
MATERIAL : 2,338 WON/CU.METER
LABOR EXPENSES : 5,357 WON/CU.METER
EXPENSES : 1,590 WON/CU.METER
TOTAL : 9,285 WON/CU.METER
C
C CONCRETE : MATERIAL : 57,600 WON/CU.METER
LABOR EXPENSES : 20,090 WON/CU.METER
TOTAL : 77,690 WON/CU.METER
C
C REINFORCING STEEL : MATERIAL : 334,461 WON/TON
LABOR EXPENSES : 321,819 WON/TON
TOTAL : 656,280 WON/TON
C
C FORM WORK : MATERIAL : 9,592 WON/SQ.METER
LABOR EXPENSES : 13,366 WON/SQ.METER
TOTAL : 22,958 WON/SQ.METER
C
C PARAMETERS FOR UNIT PRICE
*** INPUT THE UNIT PRICES OF MATERIAL AND LABOR ***
UNEXC=9285.0
UNICON=77690.0
UNISTL=656280.0
UNIFOM=27958.0
C
C UNIT WEIGHT OF REINFORCING STEEL
C
C UNIT WEIGHT OF STEEL = 0.0078546 KG/CU.CM
= 7854.6 KG/CU.METER
= 7.8546 TON/CU.METER
C
C STELWT=7.8546
C
C *****
C # THE END OF PARAMETERS #
C *****
C THE RATIO OF THE CIRCUMFERENCE OF A CIRCLE TO ITS DIAMETER
PAI=3.14159
C UNIT TRANSPOSITION FROM DEGREE TO RADIAN
UNTRA=PAI/180.0
C INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL (UNIT : RADIAN)
FAIRAD=FAIDEG*UNTRA
C UNIT CONVERSION FROM METER TO CENTIMETER(UM=100.0CM)
UNLEN=100.0
C DIMENSION OF CONCRETE SECTION AT EACH POINT
C ANGLE OF INNER SIDE WALL (UNIT : RADIAN)
THETAR=THETAD*UNTRA
C WIDTH OF INVERT
B=40*R*SIN(THETAR)
C HEIGHT OF INNER SIDE WALL
E=R*(2.0-COS(THETAR))-1
C HEIGHT OF THE CORNER OF INNER SIDE WALL FROM THE CROWN OF INVERT
F=2.0*R*(1-COS(THETAR))

```

```

C HEIGHT OF SIDE WALL FROM THE BOTTOM OF INVERT
Y=R-X(2)
C HALF WIDTH OF INVERT
HX=R-X(1)
C
C OBJECTIVE FUNCTION
C
C VOLUME OF EXCAVATION PER METER
VOLEX1=PAI*(R-X(1)-THICKC-THICKB)**2/2.0
VOLEX2=2.0*(R-X(1)-THICKC-THICKB)*(R-X(2)-THICKC)
VOLEXC=VOLEX1-VOLEX2
C VOLUME OF CONCRETE PER METER
C VOLUME OF OUTER ARCH
VOLARO=PAI*(HX-THICKC)**2/2.0
C VOLUME OF INNER ARCH
VOLARI=PAI*R**2/2.0
C VOLUME OF RECTANGLE
VOLREC=2.0*(HX-THICKC)*(Y-THICKC)
C VOLUME OF INNER RECTANGLE
VOLRCI=B*E
C VOLUME OF FAN SHAPE
VOLFAN=2.0*(PAI*(2.0*R)**2*(2.0*THETAR)/(2.0*PAI)
+-(2.0*R-F)*B/2.0)
C VOLUME OF CONCRETE
VOLCON=VOLARO-VOLREC-VOLRCI-VOLARI-VOLFAN
C VOLUME OF STEEL PER METER OF TUNNEL
C CALCULATION OF STEEL LENGTH
STLLN(1)=2.0*PAI*(HX-CRDPRM)*100.0/360.0
STLLN(2)=2.0*PAI*(R-CRDPRM)*100.0/360.0
STLLN(3)=4.0*PAI*(HX-CRDPRM)*50.0/360.0
+-(2.0*(Y-2.0*(Y-E)))
STLLN(4)=(2.0*PAI*(R-CRDPRM)+50.0/360.0
*PAI*(2.0*R)*(2.0*THETAR)/(2.0*PAI))
DELTAR=45.0*UNITRA
GAMAR=GAMAD*UNITRA
STLLN(5)=B
STLLN(6)=8.0*PAI*R*GAMAD/360.0
+-(2.0*(Y-E)/COS(DELTAR))
C TOTAL VOLUME OF STEEL PER METER OF TUNNEL
DO 10 I=3,8
J=I-2
VOLSTL(I)=STLLN(J)*X(I)
10 CONTINUE
C
C TOTSTL=0.0
DO 20 I=1,5
TOTSTL=TOTSTL+VOLSTL(I)
20 CONTINUE
C AREA OF MOLD FORM PER METER
C AREA OF SIDE WALL (OUTSIDE)
ARWALO=2.0*(Y-THICKC)
C AREA OF ARCH (OUTSIDE)
C BECAUSE MOLD FORM WILL BE OVERLAPPED, 2.5 IS PRODUCED
ARARCO=PAI*(R-THICKC-THICKB)*2.5
C AREA OF SIDE WALL AND INVERT (INSIDE)
ARWALI=16.0*PAI*R*THETAD/360.0
C AREA OF ARCH (INSIDE)
ARARCI=PAI*HX
C TOTAL AREA OF MOLD FORM PER METER
TOTFOM=ARWALO+ARARCO+ARWALI+ARARCI
C
C *** OBJECTIVE FUNCTION ***
C
OBJ=UNEXC+VOLEXC+UNICON+VOLCON+STELWT*UNISTL+TOTSTL
+TOTFOM*UFIFOM
C
C *** DESIGN OF TUNNEL ***
C
C CALCULATION OF LOAD APPLIED TO TUNNEL
C
C VERTICAL UNIFORM LOAD (KG/M)
P=GAMAST*DEPSOL*1000.0
C HORIZONTAL UNIFORM LOAD (KG/M)
WW=GAMAST*SOPRCO*(DEPSOL-X(1)/2.0)*1000.0
C TRIANGLE HORIZONTAL LOAD
PT=GAMAST*SOPRCO*(2.0*R-X(1)/2.0-X(2)/2.0)*1000.0
T=GAMAST*SOPRCO*1000.0
C
C CALCULATION OF MOMENT, AXIAL FORCE AND SHEAR FORCE
C
C TABLE OF MOMENT, AXIAL FORCE AND SHEAR FORCE
C
C SELF WEIGHT
SELFOR(1)=X(1)*(R-X(1)/2.0)**2
SELFOR(2)=X(1)*(R-X(1)/2.0)
SELFOR(3)=SELFOR(2)
C VERTICAL UNIFORM LOAD
SELFOR(4)=P*(R-X(1)/2.0)*(R-X(1))
SELFOR(5)=P*(R-X(1))
SELFOR(6)=SELFOR(5)
C HORIZONTAL UNIFORM LOAD
SELFOR(7)=WW*(R-X(1)/2.0)*(R-X(1))
SELFOR(8)=WW*(R-X(1))
SELFOR(9)=SELFOR(8)
C TRIANGLE HORIZONTAL LOAD
SELFOR(10)=T*(R-X(1)/2.0)*(R-X(1))**2
SELFOR(11)=T*(R-X(1))**2
SELFOR(12)=SELFOR(11)
C WATER PRESSURE BY WATER FILLED IN TUNNEL
SELFOR(13)=R*(R-X(1)/2.0)*(R-X(1))
SELFOR(14)=R*(R-X(1))
SELFOR(15)=SELFOR(14)
C
C *** TABLE OF M.N.S COEFFICIENT ***
C
C TABLE IS COMPOSED BY 2-DIMENSIONAL ARRAY
C NUMBERS FOR POSITION ON TUNNEL
C CROWN
C 1
C 2
C SIDE WALL
C 3
C 4
C 5
C 6
C INVERT
C 7
C
C COMBINATION OF LOAD AND SECTION FORCE

```

```

C MOMENT BY SELF WEIGHT
C AXIAL FORCE BY SELF WEIGHT
C SHEAR FORCE BY SELF WEIGHT
C MOMENT BY VERTICAL UNIFORM LOAD
C AXIAL FORCE BY VERTICAL UNIFORM LOAD
C SHEAR FORCE BY VERTICAL UNIFORM LOAD
C MOMENT BY HORIZONTAL UNIFORM LOAD
C AXIAL FORCE BY HORIZONTAL UNIFORM LOAD
C SHEAR FORCE BY HORIZONTAL UNIFORM LOAD
C MOMENT BY HORIZONTAL TRIANGLE LOAD
C AXIAL FORCE BY HORIZONTAL TRIANGLE LOAD
C SHEAR FORCE BY HORIZONTAL TRIANGLE LOAD
C MOMENT BY WATER PRESSURE
C AXIAL FORCE BY WATER PRESSURE
C SHEAR FORCE BY WATER PRESSURE
C
COEFF(1,1)=813.0
COEFF(2,1)=-33.0
COEFF(3,1)=-1192.0
COEFF(4,1)=-1217.0
COEFF(5,1)=-1184.0
COEFF(6,1)=-268.0
COEFF(7,1)=-1770.0
C
COEFF(1,2)=-365.0
COEFF(2,2)=983.0
COEFF(3,2)=4038.0
COEFF(4,2)=7210.0
COEFF(5,2)=5825.0
COEFF(6,2)=1875.0
COEFF(7,2)=563.0
C
COEFF(1,3)=0.0
COEFF(2,3)=1775.0
COEFF(3,3)=565.0
COEFF(4,3)=-703.0
COEFF(5,3)=-4320.0
COEFF(6,3)=0.0
COEFF(7,3)=0.0
C
COEFF(1,4)=0.210
COEFF(2,4)=-0.038
COEFF(3,4)=-0.247
COEFF(4,4)=-0.137
COEFF(5,4)=-0.127
COEFF(6,4)=0.009
COEFF(7,4)=0.323
C
COEFF(1,5)=0.056
COEFF(2,5)=0.543
COEFF(3,5)=1.023
COEFF(4,5)=0.998
COEFF(5,5)=0.737
COEFF(6,5)=0.143
COEFF(7,5)=-0.056
C
COEFF(1,6)=0.0
COEFF(2,6)=0.466
COEFF(3,6)=-0.056
COEFF(4,6)=-0.033
COEFF(5,6)=-0.713
COEFF(6,6)=-0.630
COEFF(7,6)=0.0
C
COEFF(1,7)=-0.211
COEFF(2,7)=0.027
COEFF(3,7)=0.269
COEFF(4,7)=-0.047
COEFF(5,7)=-0.078
COEFF(6,7)=-0.114
COEFF(7,7)=-0.281
C
COEFF(1,8)=0.984
COEFF(2,8)=0.490
COEFF(3,8)=0.0
COEFF(4,8)=0.143
COEFF(5,8)=0.530
COEFF(6,8)=0.922
COEFF(7,8)=1.061
C
COEFF(1,9)=0.0
COEFF(2,9)=-0.490
COEFF(3,9)=0.014
COEFF(4,9)=0.810
COEFF(5,9)=0.623
COEFF(6,9)=0.292
COEFF(7,9)=0.0
C
COEFF(1,10)=-0.170
COEFF(2,10)=0.0
COEFF(3,10)=0.274
COEFF(4,10)=-0.008
COEFF(5,10)=0.044
COEFF(6,10)=-0.088
COEFF(7,10)=-0.300
C
COEFF(1,11)=0.612
COEFF(2,11)=0.402
COEFF(3,11)=0.0
COEFF(4,11)=0.172
COEFF(5,11)=0.650
COEFF(6,11)=1.194
COEFF(7,11)=1.432
C
COEFF(1,12)=0.0
COEFF(2,12)=-0.402
COEFF(3,12)=-0.122
COEFF(4,12)=0.974
COEFF(5,12)=0.748
COEFF(6,12)=0.376
COEFF(7,12)=0.0
C
COEFF(1,13)=139.0
COEFF(2,13)=-2.0
COEFF(3,13)=-215.0
COEFF(4,13)=61.0
COEFF(5,13)=95.0

```

```

COEFF(6,13)=142.0
COEFF(7,13)=192.0
C
COEFF(1,14)=-550.0
COEFF(2,14)=-405.0
COEFF(3,14)=-192.0
COEFF(4,14)=-107.0
COEFF(5,14)=-555.0
COEFF(6,14)=-1015.0
COEFF(7,14)=-1191.0
C
COEFF(1,15)=0.0
COEFF(2,15)=321.0
COEFF(3,15)=113.0
COEFF(4,15)=-900.0
COEFF(5,15)=718.0
COEFF(6,15)=57.0
COEFF(7,15)=0.0
C
CALCULATION OF M,N,S
C
DO 40 I=1,7
DO 30 J=1,5
SFVAL(I,J)=SELFOR(J)*COEFF(I,J)
30 CONTINUE
40 CONTINUE
C
SUMMATION OF SECTION FORCE AT EACH POINT ON TUNNEL
C
DO 50 I=1,7
SMPOIM(I)=0.0
SMPOIN(I)=0.0
SMPOIS(I)=0.0
50 CONTINUE
C
DO 70 I=1,7
DO 60 J=1,13,3
SMPOIM(I)=SMPOIM(I)-SFVAL(I,J)
60 CONTINUE
70 CONTINUE
C
DO 90 I=1,7
DO 80 J=2,14,3
SMPOIN(I)=SMPOIN(I)-SFVAL(I,J)
80 CONTINUE
90 CONTINUE
C
DO 110 I=1,7
DO 100 J=3,15,3
SMPOIS(I)=SMPOIS(I)-SFVAL(I,J)
100 CONTINUE
110 CONTINUE
C
CALCULATION OF THE THICKNESS OF LINING
C AT EACH POINT
THLIN(1)=X(1)
THLIN(2)=X(1)
THLIN(3)=X(1)
THLIN(4)=2.0-R*(1.0-COS(THETAR))+X(1)
THLIN(5)=Y-E
THLIN(6)=Y-E
THLIN(7)=X(2)
C EFFECTIVE DEPTH OF CONCRETE AT EACH POINT OF ARCH
DO 120 I=1,7
EFFDEP(I)=THLIN(I)-CRDPRM
IF(EFFDEP(I).EQ.0.0)EFFDEP(I)=0.01
120 CONTINUE
C
DESIGN OF LINING
C
CHECK THE LINING THICKNESS AND REINFORCEMENT
C IGNORING COMPRESSIVE STEEL. CALCULATE WITH
C ONLY TENSILE REINFORCEMENT
C CALCULATION OF STEEL RATIO
C STEEL RATIO BY INSIDE STEEL AT EACH POINT
C
STRATI(1)=X(4)/EFFDEP(1)
STRATI(2)=X(6)/EFFDEP(2)
STRATI(3)=X(6)/EFFDEP(3)
STRATI(4)=X(6)/EFFDEP(4)
STRATI(5)=X(6)/EFFDEP(5)
STRATI(6)=X(8)/EFFDEP(6)
STRATI(7)=X(8)/EFFDEP(7)
C STEEL RATIO BY OUTSIDE STEEL AT EACH POINT
STRATO(1)=X(3)/EFFDEP(1)
STRATO(2)=X(5)/EFFDEP(2)
STRATO(3)=X(5)/EFFDEP(3)
STRATO(4)=X(5)/EFFDEP(4)
STRATO(5)=X(5)/EFFDEP(5)
STRATO(6)=X(7)/EFFDEP(6)
STRATO(7)=X(7)/EFFDEP(7)
C
DO 140 I=1,7
IF(SMPOIM(I).LT.0.0)GO TO 130
PSTRAT(I)=STRATI(I)
GO TO 140
130 PSTRAT(I)=STRATO(I)
140 CONTINUE
C
NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
C
DO 150 I=1,7
DEMOME(I)=ABS(SMPOIM(I))+FACDED*UNILEN
FAIMN(I)=FAM*PSTRAT(I)*SIGMAY*UNILEN+(EFFDEP(I)*UNILEN)**2
*(1.0-0.59*PSTRAT(I)*SIGMAY/SIGMCK)
IF(FAIMN(I).EQ.0.0)FAIMN(I)=0.01
150 CONTINUE
C
CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH
C
DO 160 I=1,7
G(I)=(DEMOME(I)-FAIMN(I))/ABS(FAIMN(I))
160 CONTINUE
C
NOMINAL SHEAR STRENGTH
DO 170 I=1,7
DESHER(I)=ABS(SMPOIS(I))+FACDED
PIVNST(I)=0.53*FAIS*SQRT(SIGMCK)*UNILEN+EFFDEP(I)*UNILEN
IF(PIVNST(I).EQ.0.0)PIVNST(I)=0.01
170 CONTINUE
C
CONSTRAINTS FOR SHEAR STRENGTH
DO 180 I=1,7
J=7-I
G(J)=(DESHER(I)-PIVNST(I))/ABS(PIVNST(I))
180 CONTINUE
C
AXIAL FORCE
C
GROSS AREA OF CONCRETE AT EACH POINT
DO 190 I=1,7
AG(I)=THLIN(I)
190 CONTINUE
C
AREA OF REINFORCEMENT AT EACH POINT
AST(1)=X(3)-X(4)
AST(2)=X(6)-X(5)
AST(3)=X(6)-X(5)
AST(4)=X(5)+X(6)
AST(5)=X(5)+X(6)
AST(6)=X(8)-X(5)
AST(7)=X(7)-X(8)
C
CALCULATION OF NOMINAL AXIAL STRENGTH
DO 200 I=1,7
FAIPN(I)=(FAIP*(0.85*SIGMCK*(AG(I)-AST(I))+SIGMAY*AST(I)))*1000.0
IF(FAIPN(I).EQ.0.0)FAIPN(I)=0.01
200 CONTINUE
C
CONSTRAINTS FOR AXIAL STRENGTH
DO 210 I=1,7
J=14-I
G(J)=(SMPOIN(I)+FACDED-FAIPN(I))/ABS(FAIPN(I))
210 CONTINUE
C
CONSTRAINTS FOR MINIMUM REINFORCEMENT
C
DO 220 I=1,7
PMINO(I)=AG(I)+0.001
PMINI(I)=AG(I)+0.0015
IF(PMINO(I).EQ.0.0)PMINO(I)=0.01
IF(PMINI(I).EQ.0.0)PMINI(I)=0.01
220 CONTINUE
G(22)=(PMINO(I)-X(3))/ABS(PMINO(I))
G(23)=(PMINO(2)-X(5))/ABS(PMINO(2))
G(24)=(PMINO(4)-X(5))/ABS(PMINO(4))
G(25)=(PMINO(7)-X(7))/ABS(PMINO(7))
G(26)=(PMINI(1)-X(4))/ABS(PMINI(1))
G(27)=(PMINI(3)-X(6))/ABS(PMINI(3))
G(28)=(PMINI(7)-X(8))/ABS(PMINI(7))
C
CONSTRAINTS FOR MINIMUM THICKNESS OF LINING
C
MINIMUM THICKNESS OF LINING
THMIN=2.0+R/30.0
IF(THMIN.LT.0.1)THMIN=0.1
DO 230 I=1,7
J=28-I
G(J)=(THMIN-THLIN(I))/ABS(THMIN)
230 CONTINUE
C
MAXIMUM REINFORCING STEEL
C
BALANCE STEEL RATIO
PB=0.85*0.85*SIGMCK*6120.0/SIGMAY/(6120.0-SIGMAY)
ASMXRA=0.75*PB
IF(ASMXRA.EQ.0.0)ASMXRA=0.01
C
CONSTRAINTS FOR MAXIMUM STEEL RATIO
C
DO 240 I=1,7
J=35-I
G(J)=(STRATI(I)-ASMXRA)/ABS(ASMXRA)
240 CONTINUE
DO 250 I=1,7
J=42-I
G(J)=(STRATO(I)-ASMXRA)/ABS(ASMXRA)
250 CONTINUE
RETURN
END

```

낙 차 품

```

C
C-----
C OPTIMUM DESIGN OF DROPS
C PROGRAM : RDROP.F
C PROGRAMMER : KIM, JONG OK
C UNIT : KG. CM. KG/CM. KG/SQ.CM
C-----
C DIMENSION X(6),XL(6),XU(6),G(20),WK(4000),JWK(1500),
C *RPRM(20),IPRM(20)
C DEFINE NRWK,NRIWK
C NRWK=4000
C NRIWK=1500
C DEFINE METHOD,NDV,NCON
C METHOD=1
C # DESIGN VARIABLES
C NDV=6
C # CONSTRAINTS
C NCON=16
C DESCRIPTION OF DESIGN VARIABLES
C X(1) : THICKNESS OF DROP'S WALL (CM)
C X(2) : LENGTH OF HEEL (CM)
C X(3) : LENGTH OF TOE (CM)
C X(4) : THICKNESS OF FOOTING (CM)
C X(5) : MAIN STEEL AREA IN DROP'S WALL PER METER AND
C BOTTOM STEEL AREA IN FOOTING PER METER
C X(6) : TOP STEEL AREA IN FOOTING PER METER
C STARTING POINT
C *** INPUT INITIAL DESIGN VARIABLES ***
C
C X(1)=30.0
C X(2)=70.0
C X(3)=40.0
C X(4)=30.0
C X(5)=20.0
C X(6)=20.0
C DESIGN BOUNDS
C LOWER BOUNDS
C XL(1)=20.0
C XL(2)=20.0
C XL(3)=20.0
C XL(4)=15.0
C XL(5)=0.8E-1
C XL(6)=0.8E-1
C UPPER BOUNDS
C XU(1)=200.0
C XU(2)=1000.0
C XU(3)=1000.0
C XU(4)=300.0
C XU(5)=50.0
C XU(6)=50.0
C DEFINE IPRINT,MINMAX,INFO
C PRINT CONTROL
C IPRINT=3
C MINIMIZE
C MINMAX=-1
C INITIALIZE INFO TO ZERO
C INFO=0
C OPTIMIZE
C ZERO RPRM AND IPRM
C DO 10 I=1,20
C RPRM(I)=0.0
C 10 IPRM(I)=0
C CALL DOT(INFO,METHOD,PRINT,NDV,NCON,X,XL,XU,
C *OBJ,MINMAX,G,RPRM,IPRM,WK,NRWK,JWK,NRIWK)
C FINISHED ?
C IF(INFO.EQ.0)GO TO 1000
C EVALUATE OBJECTIVE AND CONSTRAINTS.
C CALL EVAL(OBJ,X,G)
C GO CONTINUE WITH OPTIMIZATION.
C GO TO 100
C 1000 CONTINUE
C STOP
C END
C SUBROUTINE EVAL(OBJ,X,G)
C DIMENSION X(6),G(20),FOR(20),TEMPOR(20),
C *HC(20),BHC(20),WV(10),WARM(10)
C *****
C # PARAMETERS #
C *****
C *** INPUT THE VALUES OF PARAMETERS ***
C UNIT WEIGHT OF SOIL
C SOILWT=1.8E 3
C UNIT WEIGHT OF CONCRETE
C CONCWT=2.5E 3
C UNIT WEIGHT OF WATER (KG/CM.CM)
C GAMAW=1.0E 3
C INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL (UNIT : DEGREE)
C
C FAIDEG=30.0
C FRICTION COEFFICIENT BETWEEN FOOTING AND BASE
C FRICO=0.5
C DESIGN STRENGTH OF CONCRETE
C SIGMCK=210.0
C YIELDING STRENGTH OF REINFORCING STEEL
C SIGMAY=3000.0
C INDEX FOR THE SELECTION OF SOIL PRESSURE COEFFICIENT FORMULA
C IF INDFOR=1 : RANKINE FORMULA
C IF INDFOR=2 : COULOMB FORMULA
C *** PLEASE SELECT THE SOIL PRESSURE FORMULA ***
C
C INDFOR=1
C GRADIENT OF EARTH SURFACE(DEGREE)
C DEALPA=0.0
C ANGLE BETWEEN VERTICAL LINE AND BACK SURFACE OF WALL(DEGREE)
C DTHETA=0.0
C FRICTION ANGLE BETWEEN SOIL AND BACK SURFACE OF WALL(DEGREE)
C DDELTA=25.0
C SAFETY FACTOR FOR OVERTURNING
C SAFEOV=2.0
C SAFETY FACTOR FOR SLIDING
C SAFESL=1.5
C ALLOWABLE BEARING OF GROUND
C ALLSUP=3.0
C CONCRETE COVER THICKNESS OF DROP'S WALL
C COVSTM=5.0
C CONCRETE COVER THICKNESS OF HEEL
C COVHEL=5.0
C CONCRETE COVER THICKNESS OF TOE
C COVTOE=8.0
C DIAMETER OF REINFORCING STEEL TO CALCULATE CONCRETE COVER
C (UNIT:CM)
C DIAMETER=2.54
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR FLEXURE
C FADM=0.85
C STRENGTH REDUCTION FACTOR FOR SHEAR
C FAIS=0.8
C DIMENSION OF DROPS (CM)
C TOP HEIGHT OF DROPS
C H1=60.0
C MEDIUM HEIGHT OF DROPS
C H2=100.0
C TOP WIDTH OF DROPS
C WT=175.0
C BOTTOM WIDTH OF DROPS
C WB=85.0
C WIDTH OF GATE
C WG=160.0
C HEIGHT OF GATE
C HG=90.0
C SLOPE OF APPROACH CHANNEL SIDE WALL
C S=1.5
C *** FOR OBJECTIVE FUNCTION ***
C REFERENCES : THE INFORMATION ON COMMODITY PRICE (THE FIRST AND
C SECOND BOOK), FEBRUARY, 1999
C UNIT PRICE OF CONCRETE, REINFORCING STEEL AND FORM WORKS
C CONCRETE : MATERIAL : 57,600 WON/CM.METER
C LABOR EXPENSES : 20,090 WON/CM.METER
C TOTAL : 77,690 WON/CM.METER
C REINFORCING STEEL : MATERIAL : 334,461 WON/TON
C LABOR EXPENSES : 321,819 WON/TON
C TOTAL : 656,280 WON/TON
C FORM WORKS : MATERIAL : 9,592 WON/SQ.METER
C LABOR EXPENSES : 18,306 WON/SQ.METER
C TOTAL : 27,898 WON/SQ.METER
C PARAMETERS FOR UNIT PRICE
C *** PLEASE INPUT THE UNIT PRICES OF MATERIAL AND LABOR ***
C
C UNICON=77690.0
C UNISL=656280.0
C UNIFOM=27958.0
C UNIT WEIGHT OF REINFORCING STEEL
C UNIT WEIGHT OF STEEL = 0.0078546 KG/CM.CM
C = 7854.6 KG/CM.METER
C = 7.8546 TON/CM.METER
C
C STELWT=7.8546
C *****
C # THE END OF PARAMETERS #
C *****
C THE RATIO OF THE CIRCUMFERENCE OF A CIRCLE TO ITS DIAMETER
C PAI=3.14159
C UNIT TRANSPOSITION FROM DEGREE TO RADIAN
C UNITRA=PAI/180.0
C INTERNAL FRICTION ANGLE OF SOIL (UNIT : RADIAN)
C FAIRAD=FAIDEG*UNITRA
C GRADIENT OF EARTH SURFACE(RADIAN)
C ALPA=UNITRA*DEALPA
C ANGLE BETWEEN VERTICAL LINE AND BACK SURFACE OF WALL(RADIAN)
C THETA=UNITRA*DTHETA
C FRICTION ANGLE BETWEEN SOIL AND BACK SURFACE OF WALL(RADIAN)
C DELTA=UNITRA*DDELTA
C UNIT TRANSPOSITION FROM METER TO CENTMETER (1M=100.0CM)
C WIDTH=100.0
C SLOPE OF BOTTOM DROP'S SIDE WALL
C S1=(WT-WB)/H2
C *** OBJECTIVE FUNCTION ***
C
C TOTHT=H1*H2-X(4)

```

BWIDTH=2.0\*WB-WG  
 TOTLFT=X(1)-X(2)-X(3)  
 HITWAL=H1-H2  
 HS=TOTHIT-HG  
 W1=S\*HG-WB  
 W2=WT-(WB-W1)  
 C VOLUME OF CONCRETE (CU. CM)  
 AREDRP1=TOTHIT\*BWIDHT-HG\*WG  
 AREDRP2=WT-WB\*(H1-TOTHIT)  
 AREDRP=AREDRP1-AREDRP2  
 VOLCONW=AREDRP\*X(1)  
 VOLCONF=X(2)-X(3)+X(4)\*BWIDHT  
 TOTCON=VOLCONW-VOLCONF  
 C  
 C VOLUME OF STEEL (CU. CM)  
 C  
 C VOLUME OF STEEL IN WALL  
 VOLSTWL=2.0\*WB-X(5)\*TOTHIT/WIDHT  
 VOLSTWS=WG-X(5)\*(TOTHIT-HG)/WIDHT  
 VOLSTWW1=2.0\*(WT-WB)\*X(5)\*H1/WIDHT  
 VOLSTWW2=(WT-WB)\*X(5)\*H2/WIDHT  
 C  
 VOLSTW=VOLSTWL-VOLSTWS-VOLSTWW1-VOLSTWW2  
 C VOLUME OF STEEL IN FOOTING (CU. CM)  
 VOLSTFT=BWIDHT\*X(6)\*TOTLFT/WIDHT  
 VOLSTFB=BWIDHT\*X(5)\*(X(1)-X(3))/WIDHT  
 VOLSTF=VOLSTFT-VOLSTFB  
 C  
 TOTSTL=VOLSTW-VOLSTF  
 C AREA OF FORMWORK (SQ. CM)  
 ROOTIN=H2+2\*(WT-WB)\*\*2  
 GRLEN=SQRT(ROOTIN)  
 SIDLEN=2.0\*(H1-HG-GRLEN)  
 ARESID=X(1)\*SIDLEN  
 AREFOT=2.0\*X(4)\*TOTLFT  
 TOTFOM=2.0\*AREDRP-ARESID-AREFOT  
 C  
 OBJ=TOTCON-UNICON/1000000.0-TOTSTL\*STELWT-UNISTL/1000000.0  
 \*-TOTFOM-UNIFOM/10000.0  
 C  
 C CALCULATION OF SOIL PRESSURE COEFFICIENT  
 C  
 C IF INDFOR=2 : GO TO 100  
 C  
 C IF INDFOR=1 : RANKINE FORMULA  
 C  
 C RANKINE FORMULA  
 C  
 ROOTINI=COS(ALPA)\*\*2 COS(FAIRAD)\*\*2  
 ROOT1=SQRT(ROOTINI)  
 ABOVE=COS(ALPA)\*ROOT1  
 UNDER=COS(ALPA)/ROOT1  
 SOPRKA=COS(ALPA)\*ABOVE/UNDER  
 GO TO 200  
 100 CONTINUE  
 C  
 C IF INDFOR=2 : COULOMB FORMULA  
 C  
 C COULOMB FORMULA  
 C  
 ROOABO=SIN(FAIRAD-DELTA)\*SIN(FAIRAD-ALPA)  
 ROOUND=COS(THETA-DELTA)\*COS(THETA-ALPA)  
 GWALIN=1.0-ROOABO/ROOUND  
 UNDER=(COS(THETA)\*\*2)\*COS(THETA-DELTA)\*GWALIN\*\*2  
 ABOVE=COS(FAIRAD-THETA)\*\*2  
 SOPRKA=ABOVE/UNDER  
 200 CONTINUE  
 C  
 C SOPRKA : SOIL PRESSURE COEFFICIENT ((KA)  
 C  
 C HORIZONTAL SOIL PRESSURE AND POINT OF APPLICATION  
 C IN EACH SECTION OF DROPS  
 C FOR SECTION NO.1  
 FOR(1)=GAMAW\*WG\*HG\*\*2/2.0  
 HC(1)=HG/3.0  
 C FOR SECTION NO.2  
 QS2=GAMAW\*HG  
 FOR(2)=SOPRKA\*(SOILWT\*HS\*\*2/2.0-QS2\*HS)\*WG  
 IF(FOR(2).EQ.0.0)FOR(2)=0.001  
 HC(2)=(SOPRKA\*SOILWT\*HS\*\*3/6.0-QS2\*HS\*\*2/2.0)\*WG/FOR(2)  
 C FOR SECTION NO.3 : NO.8  
 DO 300 I=1,12  
 IF(J.GE.3.AND.J.LE.6)GO TO 210  
 IF(J.GE.7.AND.J.LE.10)GO TO 220  
 IF(J.GE.11.AND.J.LE.12)GO TO 230  
 A=0.0  
 B=HG  
 GO TO 240  
 210 A=0.0  
 B=S\*HG  
 GO TO 240  
 220 A=0.0  
 B=W1  
 GO TO 240  
 230 A=0.0  
 B=WT-WB  
 240 CALL RINTEG(J,A,B,GAMAW,S,HG,SOPRKA,  
 \*SOILWT,HS,WB,H1,S,AREA)  
 TEMFOR(I)=AREA  
 300 CONTINUE  
 C  
 DO 310 I=1,12  
 IF(TEMFOR(I).EQ.0.0)TEMFOR(I)=0.001  
 310 CONTINUE  
 C  
 FOR(3)=TEMFOR(1)  
 HC(3)=TEMFOR(2)/TEMFOR(1)  
 FOR(4)=TEMFOR(3)  
 HC(4)=TEMFOR(4)/TEMFOR(3)  
 FOR(5)=TEMFOR(5)  
 HC(5)=TEMFOR(6)/TEMFOR(5)  
 FOR(6)=TEMFOR(7)  
 HC(6)=TEMFOR(8)/TEMFOR(7)  
 FOR(7)=TEMFOR(9)  
 HC(7)=TEMFOR(10)/TEMFOR(9)  
 FOR(8)=TEMFOR(11)  
 HC(8)=TEMFOR(12)/TEMFOR(11)

C  
 C FOR SECTION NO.9  
 FOR(9)=W2\*SOPRKA\*SOILWT\*H1\*\*2/2.0  
 HC(9)=H1/3.0  
 C  
 C MOMENT ARMS FROM THE BOTTOM OF DROP'S WALL  
 C  
 BHC(1)=HC(1)-HS  
 BHC(2)=HC(2)  
 BHC(3)=HC(3)-HS  
 BHC(4)=HC(4)-HS  
 BHC(5)=HC(5)  
 BHC(6)=HS-WB/S-HC(6)  
 BHC(7)=H2-H3-HC(7)  
 BHC(8)=H3-HC(8)  
 BHC(9)=H2-H3-HC(9)  
 C CALCULATION OF OVERTURNING MOMENT (KG-CM)  
 OVMOME=0.0  
 DO 400 I=1,9  
 OVMOME=OVMOME+FOR(I)\*BHC(I)  
 400 CONTINUE  
 C  
 C LOADS AND POINTS OF APPLICATION  
 C  
 C LOADS  
 C  
 C SELF WEIGHT OF CONCRETE  
 WV(1)=2.0\*X(1)\*HITWAL-WB\*CONCWT  
 WV(2)=X(1)\*(HS-X(4))\*WG\*CONCWT  
 WV(3)=X(4)\*BWIDHT\*TOTLFT\*CONCWT  
 WV(4)=(WT-WB)\*(H1-HITWAL)\*X(1)\*CONCWT  
 C WEIGHT OF SOIL AND WATER  
 TOTVOL=BWIDHT\*TOTHIT\*X(2)  
 WATVOL=(WG\*HG-(HG-WB/S)\*WB\*2.0-WB\*\*2/5)\*X(2)  
 SOLVOL=TOTVOL-WATVOL  
 WV(5)=SOLVOL\*SOILWT  
 WV(6)=WATVOL\*GAMAW  
 C THE LENGTH OF ARM FROM THE CORNER  
 WARM(1)=X(3)-X(1)/2.0  
 WARM(2)=X(3)-X(1)/2.0  
 WARM(3)=X(1)-X(2)-X(3)/2.0  
 WARM(4)=X(3)-X(1)/2.0  
 WARM(5)=X(1)-X(3)-X(2)/2.0  
 WARM(6)=X(1)-X(3)-X(2)/2.0  
 C SUM OF SELF WEIGHTS AND RESISTING MOMENT  
 RESMOM=0.0  
 SUMWET=0.0  
 DO 500 I=1,6  
 SUMWET=SUMWET+WV(I)  
 RESMOM=RESMOM+WV(I)\*WARM(I)  
 500 CONTINUE  
 C  
 C CHECK THE OVERTURNING  
 C  
 FSOVTN=RESMOM/OVMOME  
 C  
 C CONSTRAINT FOR OVERTURNING  
 G(1)=(SAFEOV-FSOVTN)/ABS(SAFEOV)  
 C  
 C CHECK THE SLIDING  
 C  
 C TOTAL HORIZONTAL FORCE  
 HORFOR=0.0  
 DO 600 I=1,9  
 HORFOR=HORFOR+FOR(I)  
 600 CONTINUE  
 C  
 RESSLID=FRICO\*SUMWET  
 SFSLID=RESSLID/HORFOR  
 C CONSTRAINT FOR SLIDING  
 G(2)=(SAFEVL-SFSLID)/ABS(SAFEVL)  
 C  
 C CHECK THE SETTLEMENT  
 C  
 C CONSTRAINT FOR THE APPLICATION POINT OF TOTAL FORCE  
 C  
 ABOMOM=RESMOM-OVMOME  
 DISTR=ABOMOM/SUMWET  
 BB=TOTLFT  
 HALFB=BB/2.0  
 EALLOW=BB/6.0  
 REALLO=(-1.0)\*EALLOW  
 ECENTR=HALFB-DISTR  
 C  
 C CONSTRAINTS FOR THE ECCENTRIC DISTANCE OF TOTAL FORCE  
 C  
 IF(EALLOW.EQ.0.0)EALLOW=0.001  
 IF(REALLO.EQ.0.0)REALLO=0.001  
 G(3)=(ECENTR-EALLOW)/ABS(EALLOW)  
 G(4)=(REALLO-ECENTR)/ABS(REALLO)  
 C  
 C MAXIMUM REACTION OF FOOTING  
 C  
 IF(BB.EQ.0.0)BB=0.001  
 PMAX=SUMWET\*(1.0-6.0\*ECENTR/BB)/BB/BWIDHT  
 PMIN=SUMWET\*(1.0-6.0\*ECENTR/BB)/BB/BWIDHT  
 C  
 C CONSTRAINT FOR THE ALLOWABLE BEARING OF BASE  
 C  
 G(5)=(PMAX-ALLSUP)/ABS(ALLSUP)  
 C  
 C DESIGN OF DROP'S WALL  
 C  
 C CALCULATION OF DESIGN MOMENT AND SHEAR FORCE  
 C  
 DEMOME=1.8\*OVMOME  
 DESHER=1.8\*HORFOR  
 C  
 C CHECK THE WALL THICKNESS AND REINFORCEMENT  
 C  
 C EFFECTIVE THICKNESS OF WALL AT THE BOTTOM  
 EFFSTM=X(1)-COVSTM-DIAMETER/2.0  
 C  
 C STEEL RATIO AND NOMINAL FLEXURAL STRENGTH  
 C  
 C STEEL RATIO  
 IF(EFFSTM.EQ.0.0)EFFSTM=0.001

```

PP=X(5)/WIDTH/EFFSTM
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
  FAIMN=FAIM*PP*SIGMAY*BWIDTH*EFFSTM**2
  *(1.0-0.59*PP*SIGMAY/SIGMCK)
C CONSTRAINT FOR FLEXURAL STRENGTH
  IF(FAIMNEQ.0.0)FAIMN=0.001
  G(6)=(DEMOME-FAIMN)/ABS(FAIMN)
C CONSTRAINT FOR SHEAR STRENGTH
  PIVNST=0.53*FAIS*SQRT(SIGMCK)*BWIDTH*EFFSTM
C
  IF(PIVNSTEQ.0.0)PIVNST=0.001
  G(7)=(DESHER-PIVNST)/ABS(PIVNST)
C DESIGN OF HEEL
C DESIGN MOMENT AND DESIGN SHEAR FORCE
  CONVOL=X(2)*X(4)*BWIDTH
  QUH=1.5*(CONVOL*CONCWT-WV(5)-WV(6))
  DEMOHL=QUH*X(2)/2.0
  DESHHL=QUH
C EFFECTIVE DEPTH OF HEEL
  EFFHEL=X(4)-COVHEL-DIAMETER/2.0
C STEEL RATIO IN HEEL
  IF(EFFHELEQ.0.0)EFFHEL=0.001
  PHEL=X(6)/WIDTH*EFFHEL
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH
  FAIMHL=FAIM*PHEL*SIGMAY*BWIDTH*EFFHEL
  **2*(1.0-0.59*PHEL*SIGMAY/SIGMCK)
C CONSTRAINT FOR FLEXURAL STRENGTH IN HEEL
  IF(FAIMHLEQ.0.0)FAIMHL=0.001
  G(8)=(DEMOHL-FAIMHL)/ABS(FAIMHL)
C CONSTRAINT FOR SHEAR FORCE IN HEEL
  PIVNHL=0.53*FAIS*SQRT(SIGMCK)*BWIDTH*EFFHEL
  IF(PIVNHLEQ.0.0)PIVNHL=0.001
  G(9)=(DESHHL-PIVNHL)/ABS(PIVNHL)
C DESIGN OF TOE
  QT=(PMAX-FMIN)*(BB-X(3))/BB-FMIN
C DESIGN MOMENT OF TOE
  DEMOTO=1.8*(0.5*QT*X(3)**2+(PMAX-QT)*X(3)**2/3.0)*BWIDTH
C DESIGN SHEAR FORCE OF TOE
  DESHTO=1.8*0.5*(PMAX-QT)*X(3)*BWIDTH
C EFFECTIVE DEPTH OF TOE FOR FLEXURE
  EFFTOE=X(4)-COVTOE-DIAMETER/2.0
  IF(EFFTOEEQ.0.0)EFFTOE=0.001
C STEEL RATIO OF TOE FOR FLEXURE
  PTOE=X(5)/WIDTH*EFFTOE
C NOMINAL FLEXURAL STRENGTH FOR TOE
  FAIMTO=FAIM*PTOE*SIGMAY*BWIDTH*EFFTOE**2*(1.0-0.59*PTOE*
  *SIGMAY/SIGMCK)
C CONSTRAINTS FOR FLEXURAL STRENGTH IN TOE
  IF(FAIMTOEQ.0.0)FAIMTO=0.001
  G(10)=(DEMOTO-FAIMTO)/ABS(FAIMTO)
C EFFECTIVE DEPTH OF TOE FOR SHEAR
  EFTOSH=X(4)-COVTOE-DIAMETER/2.0
C CONSTRAINTS FOR SHEAR FORCE IN TOE
  PIVNTO=0.53*FAIS*SQRT(SIGMCK)*BWIDTH*EFTOSH
C
  IF(PIVNTOEQ.0.0)PIVNTO=0.001
  G(11)=(DESHTO-PIVNTO)/ABS(PIVNTO)
C MINIMUM REINFORCING STEEL
C MINIMUM REINFORCING STEEL OF WALL
  ASMINW=14.0*WIDTH*EFFSTM/SIGMAY
C CONSTRAINTS FOR MINIMUM REINFORCING STEEL OF WALL
  IF(ASMINWEQ.0.0)ASMINW=0.001
  G(12)=(ASMINW-X(5))/ABS(ASMINW)
C MINIMUM REINFORCING STEEL OF HEEL
  ASMINH=14.0*WIDTH*EFFHEL/SIGMAY
  IF(ASMINHEQ.0.0)ASMINH=0.001
  G(13)=(ASMINH-X(6))/ABS(ASMINH)
C MINIMUM REINFORCING STEEL OF TOE
  ASMINT=14.0*WIDTH*EFFTOE/SIGMAY
  IF(ASMINTEQ.0.0)ASMINT=0.001
  G(14)=(ASMINT-X(5))/ABS(ASMINT)
C MAXIMUM REINFORCING STEEL
C BALANCE STEEL RATIO
  PB=0.85*0.85*SIGMCK*6120.0/SIGMAY/(6120.0-SIGMAY)
  ASMXRA=0.75*PB
C
  ASMAXW=ASMXRA*WIDTH*EFFSTM
C CONSTRAINTS FOR MAXIMUM STEEL RATIO IN WALL
  IF(ASMAXWEQ.0.0)ASMAXW=0.001
  G(15)=(X(5)-ASMAXW)/ABS(ASMAXW)
  FOOTLM=TOE*HIT-0.001
  IF(FOOTLMEQ.0.0)FOOTLM=0.001
  G(16)=(X(4)-FOOTLM)/ABS(FOOTLM)
C
  RETURN
  END
C NUMERICAL INTEGRATION
C SUBROUTINE FOR NUMERICAL INTEGRATION
C
  SUBROUTINE RINTEG(J,A,B,GAMAW,S,HG,SOPRKA
  *SOILWT,HS,WB,HL,S1,AREA)
  DIMENSION W(100)
  H=(B-A)/100.0
  AREA1=0.0
  AREA=0.0
  DO 10 N=1,99
  W(N)=A+N*H
  Y=W(N)
  VAL=F(J,Y,GAMAW,S,HG,SOPRKA
  *SOILWT,HS,WB,HL,S1,AREA)
  AREA1=AREA1+H*VAL
  CONTINUE
  10 FIRST=F(J,A,GAMAW,S,HG,SOPRKA
  *SOILWT,HS,WB,HL,S1,AREA)
  TLAST=F(J,B,GAMAW,S,HG,SOPRKA
  *SOILWT,HS,WB,HL,S1,AREA)
  AREA=AREA1+0.5*H*(FIRST+TLAST)
C
  RETURN
  END
C FUNCTION SUBPROGRAM
C
  FUNCTION F(J,Y,GAMAW,S,HG,SOPRKA
  *SOILWT,HS,WB,HL,S1,AREA)
  GO TO(10,20,30,40,50,60,70,80,90,100)J
  F=GAMAW*(HG-Y)*S*Y
  RETURN
C
  20 F=GAMAW*(HG-Y)*S*Y**2
  RETURN
C
  30 QS4=GAMAW*(HG-Y/S)
  F=SOPRKA*(SOILWT*(Y/S)**2/2.0-QS4*(Y/S))
  RETURN
C
  40 QS4=GAMAW*(HG-Y/S)
  F=SOPRKA*(SOILWT*(Y/S)**3/6.0
  **QS4*(Y/S)**2/2.0)
  RETURN
C
  50 QS5=GAMAW*(HG-Y/S)*SOILWT*Y/S
  F=SOPRKA*(SOILWT*HS**2/2.0-QS5*HS)
  RETURN
C
  60 QS5=GAMAW*(HG-Y/S)*SOILWT*Y/S
  F=SOPRKA*(SOILWT*HS**3/6.0-QS5*HS**2/2.0)
  RETURN
C
  70 HIT6=HG-WB/S
  QS6=GAMAW*(HIT6-Y/S)
  F=SOPRKA*(SOILWT*(Y/S)**2/2.0-QS6*(Y/S))
  RETURN
C
  80 HIT6=HG-WB/S
  QS6=GAMAW*(HIT6-Y/S)
  F=SOPRKA*(SOILWT*(Y/S)**3/6.0
  *QS6*(Y/S)**2/2.0)
  RETURN
C
  90 HIT7=HI-HG-WB/S
  QS7=GAMAW*(HG-WB/S-Y/S)*SOILWT*(Y/S)
  F=SOPRKA*(SOILWT*HIT7**2/2.0-QS7*HIT7)
  RETURN
C
  100 HIT7=HI-HG-WB/S
  QS7=GAMAW*(HG-WB/S-Y/S)*SOILWT*(Y/S)
  F=SOPRKA*(SOILWT*HIT7**3/6.0-QS7*HIT7**2/2.0)
  RETURN
C
  110 QS8=SOILWT*HI
  F=SOPRKA*(SOILWT*(S1*Y)**2/2.0-QS8*S1*Y)
  RETURN
C
  120 F=SOPRKA*(SOILWT*(S1*Y)**3/6.0
  **QS8*S1*Y**2/2.0)
  RETURN
  END

```

## 부록 II. 표준설계도 작성 프로그램 코드

여 백

```

-----
Program : water_bridge
Dynamic Dialog box
Choi Won
1999 10 1
-----
수로교 형상화 위한 가장 초기 다이얼로그 박스
-----
defun c:water_bridge( dcl_did ds)
  (command "new" "N" "")

  setq #DataBase "0")
  setq #Plate_Width "WWW")
  setq #Span_Length "LLL")
  setq #FileName nil)

  (setq dcl_did (load_dialog "project"))
  (if (not (=new_dialog "water_bridge" dcl_did)) (exit))
  (project.dcl 안의 scl지정

  (start_image "figure")
  (slide_image
   0 0
   (dimx_tile "figure") (dimy_tile "figure")
   "project-slide(project-logo-water_bridge)"
  )
  (end_image)

  (load (strcat (prefix) "project/water-dimention"))
  (load (strcat (prefix) "project/fo?"))
  (load (strcat (prefix) "project/text-input"))
  (load (strcat (prefix) "new\수로교\철근-함수들\steel_straight.lsp"))
  (load (strcat (prefix) "new\수로교\철근-함수들\steel_u.lsp"))
  (load (strcat (prefix) "new\수로교\철근-함수들\steel_x.lsp"))
  (load (strcat (prefix) "new\수로교\kkk.lsp"))
  (load (strcat (prefix) "project/water-bridge_view"))
  (load (strcat (prefix) "project/option-view?"))

  (c:water-dimention)
  (unload_dialog dcl_did)

  (pop env)
  (setq *error* oer seterr nil)

  print #DataBase)
  print #Plate_Width)
  print #Span_Length)
  print #FileName)

  (if (/= #FileName nil)
    (progn
      (c:kkk)
      (command "save" "D:\ProgramFiles\AutoCADR14\Project\jmsi.dwg"
        y" ""))
      (c:water-bridge_view)
    )
    (progn
      )
    )
  )
  print)

```

```

ok_cancel_help_info:
-----
Program: water-dimension.lsp
VIEW water-dimension_list
Choi Won
99/10/4
-----
(defun c:water-dimension (/ dimension_number)
  ;;에러 내장 루틴
  ;;
  (defun SETERR(s)
  ;If an error (CTRL-C) occurs when this command is active.
  (if (/= s "Function cancelled")
    (if (= s "quit / exit abort")
      (princ "cancel")
      (princ (strcat "\nError " s)
    )
    )
  ); of if
  ;Restore previous error handler
  (setq *error* oer seterr nil)
  (princ)
  ); of SETERR

  (setq oer *error* *error* seterr)
  (push-env)

  (setq file-read (open "project\data_base\water-number.dat" "r"))
  (c:fo)
  (setq dimension_number (nth 0 gather-figure-sum))

  (setq file-read (open "project\data_base\water-dimension.dat" "r"))
  (c:fo)
  (setq LIST_SUM gather-figure-sum)
  (c:fo)
  (setq LIST_SUM (list LIST_SUM gather-figure-sum) )

  ;16-2이므로=14
  (repeat (Fix (- dimension_number 2))
    (c:fo)
    (setq gather-figure-sum (list gather-figure-sum))
    (setq LIST_SUM (append LIST_SUM gather-figure-sum) )
  )

  (action_tile "mcode" "(Code_point $value)")

  (setq file-read (open "project\data_base\water-code.dat" "r"))
  (c:text-input (Fix dimension_number))
  (setq code_list gather-figure-sum)

  (start_list "mcode")
  (mapcar 'add_list code_list)
  (end_list)

  (setq aa_real 0)
  (setq bb_real 0)
  (setq cc_real 0)
  (setq dd_real 0)
  (setq ee_real 0)

  (setq aa 0)
  (setq bb 0)
  (setq cc 0)
  (setq dd 0)
  (setq ee 0)

  (set_tile "aa" (rtos aa))
  (set_tile "bb" (rtos bb))
  (set_tile "cc" (rtos cc))
  (set_tile "dd" (rtos dd))
  (set_tile "ee" (rtos ee))

  (set_tile "Plate_Width" "input?")
  (set_tile "Span_Length" "input?")

  (mode_tile "Plate_Width" 1)
  (mode_tile "Span_Length" 1)
  (mode_tile "mcode" 1)
  (mode_tile "aa" 1)
  (mode_tile "bb" 1)
  (mode_tile "cc" 1)
  (mode_tile "dd" 1)
  (mode_tile "ee" 1)

  (action_tile "File-Open" "(set-File-Open)")

  (action_tile "DataBase" "(set-option)")
  (action_tile "Plate_Width" "(set-Plate_Width)")
  (action_tile "Span_Length" "(set-Span_Length)")
  (action_tile "accept" "(do-accept)")
  (action_tile "cancel" "(do-cancel)")
  ;:CANCEL button

  (start_dialog)

  (print aa)
  (print bb)
  (print cc)
  (print dd)
  (print ee)
  (print aa_real)
  (print bb_real)
  (print cc_real)
  (print dd_real)
  (print ee_real)
  )

  (defun set-File-Open( / in )
  (setq in (getfiled "수로교 형상 자료를 입력하십시오 !" (strcat (prefix) "new\수로교\\"
  "dat" 8))
  (setq #FileName in)
  )

  (defun do-accept()
  (done_dialog)

```

```

in do cancel()
one_dialog)
sit)
DO_CANCEL

in set-Plate_Width( : in )
sq in (get_tile "Plate_Width")
sq #Plate_Width (atoi in)

(if (<= #Plate_Width 0)
  (progn
    (set_tile "error" "Babo")
    (mode_tile "Plate_Width" 2)
    nil
  )
  (progn
    (set_tile "error" "")
    T
  )
)

defun
n set-Span_Length( : in )
sq in (get_tile "Span_Length")
sq #Span_Length (atoi in)

(if (<= #Span_Length 0)
  (progn
    (set_tile "error" "Babo")
    (mode_tile "Span_Length" 2)
    nil
  )
  (progn
    (set_tile "error" "")
    T
  )
)

defun
n set-option( : in )
(mode_tile "DataBase" 2)
(setq in (get_tile "DataBase"))
(setq #DataBase in)

(if (= in "1")
  (progn
    (mode_tile "File-Open" 1)
    (mode_tile "Plate_Width" 0)
    (mode_tile "Span_Length" 0)
    (mode_tile "mcode" 0)
    (mode_tile "aa" 0)
    (mode_tile "bb" 0)
    (mode_tile "cc" 0)
    (mode_tile "dd" 0)
    (mode_tile "ee" 0)
  )
  (progn
    (mode_tile "File-Open" 0)
    (mode_tile "Plate_Width" 1)
    (mode_tile "Span_Length" 1)
    (mode_tile "mcode" 1)
    (mode_tile "aa" 1)
    (mode_tile "bb" 1)
    (mode_tile "cc" 1)
    (mode_tile "dd" 1)
    (mode_tile "ee" 1)
  )
)

defun set-option

n Code_point( ppp)

(setq dat_opt (atoi ppp))
(setq Fix_data (nth dat_opt LIST_SUM))
(setq
  aa_real (nth 0 Fix_data)
  bb_real (nth 1 Fix_data)
  cc_real (nth 2 Fix_data)
  dd_real (nth 3 Fix_data)
  ee_real (nth 4 Fix_data)
)

(setq
  aa (rtos (nth 0 Fix_data))
  bb (rtos (nth 1 Fix_data))
  cc (rtos (nth 2 Fix_data))
  dd (rtos (nth 3 Fix_data))
  ee (rtos (nth 4 Fix_data))
)

(set_tile "aa" aa)
(set_tile "bb" bb)
(set_tile "cc" cc)
(set_tile "dd" dd)
(set_tile "ee" ee)

```

```

(setq line_read (read_line line_read))
(setq line_length (strlen line_read))

(setq item 0)
(setq count 1)
(setq if-number 0)
(setq figure nil)
(setq gather-figure-sum nil)

(repeat line-length
  (setq character-read (substr line_read count 1))
  (setq count (+ count 1))

  (if (or (= character-read ".") (= character-read " "))
    (progn
      (setq if-number (- if-number 1))
      (if (= if-number 1)
        (progn
          (return-figure)
          (setq figure nil)
        )
        (progn
          (setq item 0)
          (progn
            (setq figure (append figure (list character-read)))
            (setq item (+ 1 item))
            (setq if-number 0)
          )
        )
      )
    )
  )

  (return-figure)
  (princ)
)

(defun return-figure )
(if (= figure nil)
  (progn
    (progn
      (transform-figure)
    )
  )
)

(defun transform-figure( / i list-number store-figure gather-figure i
  decision error dot_Loc

  (setq i 1)
  (setq list-number 0)
  (setq store-figure nil)
  (setq figure (reverse figure))
  (setq gather-figure 0)

  ; (repeat item
  ; (setq s 10)
  ; (setq sum 1)
  ; (setq j 1)
  ; (repeat i
  ; (setq sum (+ sum s))
  ; (if (= j 1)
  ; (setq sum 1)
  ; )
  ; (setq j (+ j 1))
  ; )end_repeat
  ; (setq i (+ i 1))
  ;

  (setq store-figure (atoi (nth list-number figure)))
  (setq list-number (- list-number 1))
  (setq gather-figure (- gather-figure (+ sum store-figure)

  )end_repeat

  (setq gather-figure (list gather-figure))
  (setq gather-figure-sum (append gather-figure sum gather-figure

  )

  (if (= (nth (- item 2) figure) ".")

  (setq decision nil)
  (setq error 1)
  (setq dot_Location 0)

  (while error
    (if (= (nth dot_Location figure) ".")
      (progn
        (setq decision "dot")
        (setq error nil)
      )
      (progn
        )
      )
    )
    (setq dot_Location (- dot_Location 1))
    (if (= dot_Location item)
      (setq error nil)
    )
  )

  (if (= decision "dot")
    (progn
      (setq list-number (- dot_Location 1))
      (repeat (- dot_Location 1)
        (setq s 0.1)
        (setq sum 1)

```



```

(defun c:water-design )
  (command "ucs" "" )
  (command "erase" "all" "" )
  (setq file-read (open #FileName "r"))

;콘크리트 입력
(c:fo)
(setq Bottom_Length_W1 (nth 0 gather-figure-sum))
(setq Bottom_Length_HE (nth 1 gather-figure-sum))
(setq Plate_Length_W1 (nth 2 gather-figure-sum))
(setq Plate_Length_HE (nth 3 gather-figure-sum))
(setq Wall_Length_W1 (nth 4 gather-figure-sum))
(setq Wall_Length_HE (nth 5 gather-figure-sum))
(setq SPAN_Length (nth 6 gather-figure-sum))
(setq Water_Depth (nth 7 gather-figure-sum))

;6번 철근 입력(스터립)
(c:fo)
(setq Etc_Stirrup_Horizon (nth 0 gather-figure-sum))
(setq Etc_Stirrup_Slope1 (nth 1 gather-figure-sum))
(setq Etc_Stirrup_Slope2 (nth 2 gather-figure-sum))
(setq Etc_Stirrup_Number (nth 3 gather-figure-sum))
(setq Etc_Stirrup_Interval (nth 4 gather-figure-sum))
(setq Etc_Stirrup_Diameter (nth 5 gather-figure-sum))

;1번 철근 입력
(c:fo)
(setq Bottom_LS_Length (nth 0 gather-figure-sum))
(setq Bottom_LS_Diameter (nth 1 gather-figure-sum))

;3번 철근 입력
(c:fo)
(setq Plate_PS_Length (nth 0 gather-figure-sum))
(setq Plate_PS_Number (nth 1 gather-figure-sum))
(setq Plate_PS_Interval (nth 2 gather-figure-sum))
(setq Plate_PS_Diameter (nth 3 gather-figure-sum))

;7번 철근 입력
(c:fo)
(setq Plate_NS_Length (nth 0 gather-figure-sum))
(setq Plate_NS_Number (nth 1 gather-figure-sum))
(setq Plate_NS_Interval (nth 2 gather-figure-sum))
(setq Plate_NS_Diameter (nth 3 gather-figure-sum))

;4번 철근 입력
(c:fo)
(setq Wall_PS_Length (nth 0 gather-figure-sum))
(setq Wall_PS_Number (nth 1 gather-figure-sum))
(setq Wall_PS_Interval (nth 2 gather-figure-sum))
(setq Wall_PS_Diameter (nth 3 gather-figure-sum))

;2번 철근 입력
(c:fo)
(setq Plate_Middle_LS_Length (nth 0 gather-figure-sum))
(setq Plate_Middle_LS_Number (nth 1 gather-figure-sum))
(setq Wall_LS_Number (nth 2 gather-figure-sum))
(setq Plate_Middle_LS_Interval (nth 3 gather-figure-sum))
(setq Plate_Middle_LS_Diameter (nth 4 gather-figure-sum))

;8번 철근 입력
(c:fo)
(setq Plate_Side_LS_Bottom (nth 0 gather-figure-sum))
(setq Plate_Side_LS_Top (nth 1 gather-figure-sum))
(setq Plate_Side_LS_Slope (nth 2 gather-figure-sum))
(setq Plate_Side_LS_Diameter (nth 3 gather-figure-sum))
(setq Plate_Side_LS_Cutting (nth 4 gather-figure-sum))

;5번 철근 입력
(c:fo)
(setq Etc_HS_Length (nth 0 gather-figure-sum))
(setq Etc_HS_Number (nth 1 gather-figure-sum))
(setq Etc_HS_Interval (nth 2 gather-figure-sum))
(setq Etc_HS_Diameter (nth 3 gather-figure-sum))

(command "ucs" "" )
(command "limits" (list (-0 SPAN_Length) (- 0 (- Bottom_Length_W1 (/ Plate_Length_W1
2)) (list (- Bottom_Length_W1 (/ Plate_Length_W1 2)) 0) ""))
(command "vpoint" (list 1 1 1) ""))

(command "layer" "make" "concrete" "color" "white" "concrete" "" )
(make_concrete)

(command "layer" "make" "dim_section" "color" "blue" "dim_section" "" )
(make_dim_section)
(make_leader)

(command "layer" "make" "plan_section" "color" "blue" "plan_section" "" )
(make_plan_section)

(command "layer" "make" "Longitudinal_section" "color" "blue" "Longitudinal_section"
)
(make_Longitudinal_section)

(command "layer" "make" "기타-스터립" "color" "red" "기타-스터립" "" )
(make_steel_NO6)

(command "layer" "make" "바닥-길이방향철근" "color" "red" "바닥-길이방향철근" "" )
(make_steel_NO1)

(command "layer" "make" "판-주철근" "color" "red" "판-주철근" "" )
(make_steel_NO3)

(command "layer" "make" "벽-주철근" "color" "red" "벽-주철근" "" )
(make_steel_NO7)

(command "layer" "make" "벽-주철근" "color" "red" "벽-주철근" "" )
(make_steel_NO4)

(command "layer" "make" "판-중앙-길이방향철근" "color" "red" "판-중앙-길이방향철근"
)
(make_steel_NO2_plate)

(command "layer" "make" "벽-길이방향철근" "color" "red" "벽-길이방향철근" "" )
(make_steel_NO2_wall)

(command "layer" "make" "판-갈단-길이방향철근" "color" "red" "판-갈단-길이방향철근"
)
(make_steel_NO8)

(command "ucs" "" )
(command "vpoint" (list 1 1 1) "" )
(prnc)

(defun make_Longitudinal_section( / )
  (command "ucs" "" )
  (command "ucs" "x" 90 "" )
  (command "ucs" "y" 90 "" )

  (command "dimeze" (/ Bottom_Length_W1 2)) "" )
  (command "dinezo" (/ Bottom_Length_W1 10) "" )
  (command "dingap" (/ Bottom_Length_W1 15) "" )
  (command "dimtxt" (/ Bottom_Length_W1 3) "" )
  (command "dimasz" (/ Bottom_Length_W1 3) "" )

  ;1번철근
  ;변수 새로 시작
  (setq cover_hor (/ (- Bottom_Length_W1 Etc_Stirrup_Horizon) 2))
  (setq distance_x (- (+ (/ Plate_Length_W1 2) Bottom_Length_W1) Wall_Length_W1)
cover_hor) )
  (setq distance_x (+ distance_x (- (/ Bottom_LS_Diameter 2) (- Wall_PS_Diamete
ter 2)) ) )
  (setq distance_y (+ cover_hor (- (/ Bottom_LS_Diameter 2) (/
Etc_Stirrup_Diameter 2)) ) )
  ;좌 아래 가운데 철근 완성
  (setq ori (list (- 0 (/ SPAN_Length 2)) distance_y
2) )
  (setq dis (list (- 0 (/ SPAN_Length 2)) 0.2) (- 0 Bottom_Length_HE)
2) )
  (setq insert_text "P")
  (command "leader" ori dis "" insert_text "" )

  ;2번철근
  (setq cover_hor (/ (- Bottom_Length_W1 Etc_Stirrup_Horizon) 2))
  (setq distance_x (- (+ Bottom_Length_W1 (/ Plate_Length_W1 2)
Wall_Length_W1) (- cover_hor (/ Wall_PS_Diameter 2) (/
Plate_Middle_LS_Diameter 2)) ) )
  (setq distance_y (+ (+ Bottom_Length_HE cover_hor) (/ Plate_Middle_LS_Diameter 2) (/
Plate_Middle_LS_Interval) ) )
  (setq distance_y (+ distance_y Plate_Middle_LS_Interval) )

  ;2번철근
  (setq ori (list (- 0 (/ SPAN_Length 2.5)) distance_y
2) )
  (setq temp (+ Bottom_Length_HE Plate_Length_HE Wall_Length_HE) )
  (setq dis (list (- 0 (/ SPAN_Length 2.5)) 0.2) (- temp 0.2)
2) )
  (setq insert_text "@" )
  (command "leader" ori dis "" insert_text "" )
  (setq distance_y (+ distance_y Plate_Middle_LS_Interval) )
  (setq ori (list (- 0 (/ SPAN_Length 2.5)) distance_y
2) )
  (command "leader" ori dis "" insert_text "" )

  ;3번철근
  (if (>= Etc_Stirrup_Diameter Wall_PS_Diameter)
  (progn
  (setq diameter Etc_Stirrup_Diameter)
  )
  (setq diameter Wall_PS_Diameter)
  )
  (setq gap (+ (/ diameter 2) (/ Plate_PS_Diameter 2)) )
  (setq cover_hor (/ (- Bottom_Length_W1 Etc_Stirrup_Horizon) 2))
  (setq start_point (+ Bottom_Length_HE cover_hor)
)
  (setq temp (- 0 (- (+ Plate_PS_Interval 10) gap) ) )
  (setq ori (list start_point 2) )
  (setq dis (list (- 0.2 temp) (- 0 Bottom_Length_HE) 2) )
  (setq insert_text "S")
  (command "leader" ori dis "" insert_text "" )

  ;4번철근
  (setq cover_hor (/ (- Bottom_Length_W1 Etc_Stirrup_Horizon) 2))
  (setq distance_x (- (+ (/ Plate_Length_W1 2) Bottom_Length_W1) Wall_Length_W1)
cover_hor) )
  (setq distance_y (+ (/ Wall_PS_Length 2) cover_hor) )
  (setq temp (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE Wall_Length_HE) )
  (setq ori (list (- 0 (+ Wall_PS_Interval 5) Wall_Length_HE
2) ) )
  (setq dis (list (- 0 (+ Wall_PS_Interval 5)) 0.2) (- temp 0.2)
2) )
  (setq insert_text "S")
  (command "leader" ori dis "" insert_text "" )

  ;7번철근
  (if (>= Etc_Stirrup_Diameter Wall_PS_Diameter)
  (progn
  (setq diameter Etc_Stirrup_Diameter)
  )
  (setq diameter Wall_PS_Diameter)
  )
  (setq gap (- (/ diameter 2) (/ Plate_NS_Diameter 2)) )
  (setq cover_hor (/ (- Bottom_Length_W1 Etc_Stirrup_Horizon) 2))
  (setq start_point (- (+ Bottom_Length_HE Plate_Length_HE) cover_hor))
  (setq temp (- 0 (+ Plate_NS_Interval 3) gap) )
  (setq ori (list start_point 2) )
  (setq dis (list (+ 0.2 temp) (- 0 Bottom_Length_HE) 2) )
  (setq insert_text "&")

```





```

(command "ucs" "x" 90 "")
(setq ori (list (0 distance_x) distance_y))
(setq radian (/ (* 40 pi) 180))
(setq cos_value (cos radian))
(setq sin_value (sin radian))
(setq dis_x (* Plate_Length_W1 sin_value 0.5))
(setq dis_y (* Plate_Length_W1 cos_value 0.5))
(setq dis_x (+ distance_x dis_x))
(setq dis_y (+ distance_y dis_y))
(setq dis (list (- 0 dis_x) dis_y))
(setq insert_text "&")
(command "leader" ori dis "" insert_text "")
)

(defun leader_circle4 (/ cover_hor distance_x distance_y)
  (setq cover_hor (/ (- Bottom_Length_W1 Etc_Stirrup_Horizon) 2))
  (setq distance_x (+ (- (/ Plate_Length_W1 2) Bottom_Length_W1) Wall_Length_W1))
  (setq distance_y (+ (- Bottom_Length_HE cover_hor) (/ Plate_PS_Diameter 2) (/ Plate_Middle_LS_Diameter 2)))
  (setq middle_LS_Interval (/ Plate_Middle_LS_Interval 2))
  (command "ucs" "")
  (command "ucs" "x" 90 "")
  (setq ori (list (- 0 distance_x) distance_y))
  (setq radian (/ (* 45 pi) 180))
  (setq cos_value (cos radian))
  (setq sin_value (sin radian))
  (setq dis_x (* Plate_Length_W1 sin_value 0.5))
  (setq dis_y (* Plate_Length_W1 cos_value 0.5))
  (setq dis_x (+ distance_x dis_x))
  (setq dis_y (+ distance_y dis_y))
  (setq dis (list (- 0 dis_x) dis_y))
  (setq insert_text "S")
  (command "leader" ori dis "" insert_text "")
)

(defun leader_circle5 (/ diameter1 diameter2
  radian cos_value distance_x distance_y)
  (if (>= Etc_Stirrup_Diameter Wall_PS_Diameter)
    (progn
      (setq diameter1 Etc_Stirrup_Diameter)
    )
    (progn
      (setq diameter1 Wall_PS_Diameter)
    )
  )
  (if (>= Plate_NS_Diameter Plate_PS_Diameter)
    (progn
      (setq diameter2 Plate_NS_Diameter)
    )
    (progn
      (setq diameter2 Plate_PS_Diameter)
    )
  )
  (setq radian (/ (* 45 pi) 180))
  (setq cos_value (cos radian))
  (setq distance_x 0)
  (setq distance_y (+ distance_x cos_value))
  (setq distance_x (+ distance_x distance_x))
  (setq distance_x (- distance_x (/ Plate_Length_W1 2) (- Bottom_Length_W1 Wall_Length_W1)))
  (command "ucs" "")
  (command "ucs" "x" 90 "")
  (setq ori (list (0 distance_x) distance_y))
  (setq radian (/ (* 45 pi) 180))
  (setq cos_value (cos radian))
  (setq sin_value (sin radian))
  (setq dis_x (* Plate_Length_HE sin_value 0.8))
  (setq dis_y (* Plate_Length_HE cos_value 0.8))
  (setq dis_x (- distance_x dis_x))
  (setq dis_y (+ distance_y dis_y))
  (setq dis (list (- 0 dis_x) dis_y))
  (setq insert_text "%")
  (command "leader" ori dis "" insert_text "")
)

(defun make_dim_section (/ corner_point inner_point dim_distance bridge_height wall_corner
  angle_point triangle_name
  line_name1 line_name2)
  (setq corner_point (+ Bottom_Length_W1 (/ Plate_Length_W1 2)))
  (setq inner_point (/ Plate_Length_W1 2))
  (setq dim_distance (/ Bottom_Length_W1 3))
  (setq bridge_height (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE Wall_Length_HE))
  (setq wall_corner (corner_point Wall_Length_W1))
  (command "ucs" "")
  (command "ucs" "x" 90 "")
  (command "dimexe" (/ Bottom_Length_W1 20) "")
  (command "dimexo" (/ Bottom_Length_W1 10) "")
  (command "dimgap" (/ Bottom_Length_W1 15) "")
  (command "dimtxt" (/ Bottom_Length_W1 10) "")
  (command "dimasz" (/ Bottom_Length_W1 10) "")
  (command "dimlinear" (list (- 0 corner_point) 0) (list 0 (- 0 dim_distance)))
  (command "dimlinear" (list (- 0 inner_point) 0) (list inner_point 0))
  (command "dimlinear" (list (- 0 inner_point) 0) (list 0 (- 0 dim_distance)))
  (command "dimlinear" (list inner_point 0) (list 0 (- 0 dim_distance)))
  (command "dimlinear" (list inner_point 0) (list 0 (- 0 dim_distance)))
  (command "dimlinear" (list (- 0 corner_point) bridge_height) (list (- 0 wall_corner) bridge_height))
  (command "dimlinear" (list (- 0 wall_corner) bridge_height) (list 0 (- 0 bridge_height)))
  (command "dimlinear" (list (- 0 wall_corner) bridge_height) (list 0 (- 0 bridge_height)))
  (command "dimlinear" (list wall_corner bridge_height) (list wall_corner bridge_height))
  (list 0 (- 0 bridge_height))
  (command "dimexo" 0 "")
  (command "dimlinear" (list (+ corner_point Wall_Length_W1) Bottom_Length_HE) (list (- corner_point Wall_Length_W1) 0))
  (list (+ corner_point Wall_Length_W1) 0))
  (command "dimlinear" (list (+ corner_point Wall_Length_W1) Bottom_Length_HE) (list (- corner_point Wall_Length_W1) Bottom_Length_HE))
  (list (- corner_point Wall_Length_W1) Bottom_Length_HE))
  (list (- corner_point Wall_Length_W1) Bottom_Length_HE))
  (list (+ corner_point Wall_Length_W1) dim_distance) 0)
  (command "dimlinear" (list (+ corner_point Wall_Length_W1) (+ Bottom_Length_HE Plate_Length_HE)) (list (+ corner_point Wall_Length_W1) (+ Bottom_Length_HE Plate_Length_HE))
  (list (+ corner_point Wall_Length_W1) bridge_height) (list (+ corner_point Wall_Length_W1) dim_distance) 0)
  (command "line" (list (- 0 wall_corner) (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE Water_Depth)) (list wall_corner (+ Bottom_Length_HE Plate_Length_HE Water_Depth)))
  (setq triangle_point (list (- 0 Bottom_Length_W1) (+ Bottom_Length_HE Plate_Length_HE Water_Depth)))
  (command "pline" (list 0 0) (list (+ 0.5 (/ Bottom_Length_W1 10) (/ Bottom_Length_W1 10)) (list (- 0 (+ 0.5 (/ Bottom_Length_W1 10)) (/ Bottom_Length_W1 10)) (list 0 0) ""))
  (setq triangle_name (entlast))
  (command "move" triangle_name "" (list 0 0) (triangle_point ""))
  (command "line" (list (- 0 (/ Wall_Length_W1 4)) (+ 0.5 (/ Bottom_Length_W1 10)) "" (list (/ Wall_Length_W1 4) (+ 0.5 (/ Bottom_Length_W1 10)) ""))
  (setq line_name1 (entlast))
  (command "line" (list (- 0 (/ Wall_Length_W1 6)) 0) (list (/ Wall_Length_W1 6) 0) "" (setq line_name2 (entlast))
  (command "move" line_name1 line_name2 "" (list 0 0) (list (- 0 Bottom_Length_W1) (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE Water_Depth) (/ Bottom_Length_W1 10)) (list 0 (- 0 (+ 5 (/ Bottom_Length_W1 10)) (/ Bottom_Length_W1 10)) (list 0 (+ (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE) (+ 3 (/ Bottom_Length_W1 10)) (list 0 (+ (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE) (+ 7 (/ Bottom_Length_W1 10)) (list 0 (+ (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE) (+ 9 (/ Bottom_Length_W1 10)) (command "line" (list 0 (+ (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE) (+ 14 (/ Bottom_Length_W1 10)) (list 0 (+ (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE) (+ 42 (/ Bottom_Length_W1 10)) (command "pline" (list 0 (+ (/ Bottom_Length_W1 10) 2)) (list 0 0) (list (/ Bottom_Length_W1 10) 0) ""))
  (setq line_name1 (entlast))
  (command "are" (list (/ Bottom_Length_W1 10) (- (/ Bottom_Length_W1 10) 2) (/ Bottom_Length_W1 20) (list (- 0 (/ Bottom_Length_W1 10)) (+ (/ Bottom_Length_W1 10) 2) (/ Bottom_Length_W1 20)) (setq line_name2 (entlast))
  (command "copy" line_name1 line_name2 "" (list 0 0) (list 0 (+ (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE) (+ 43 (/ Bottom_Length_W1 10) (list 0 (+ (- Bottom_Length_HE Plate_Length_HE) (+ 43 (/ Bottom_Length_W1 10) (command "move" line_name1 line_name2 "" (list 0 0) (- 0 (+ 9 (/ Bottom_Length_W1 10)) (list 0 0) ""))
  (command "text" "J" "a" (list (- 0 (- Bottom_Length_W1 (/ Plate_Length_W1 2))) (- 0 (+ Bottom_Length_W1 2))) (list (+ Bottom_Length_W1 (/ Plate_Length_W1 2)) (- 0 (+ Bottom_Length_W1 2))) "SECTION A - A")
  (command "text" "J" "a" (list (- 0 (/ Plate_Length_W1 2)) (- 0 (+ Bottom_Length_W1 2.5))) (list 0 (- 0 (+ Bottom_Length_W1 2.5))) "(SPAN)")
  (command "text" "J" "a" (list (/ Plate_Length_W1 6.0) (- 0 (+ Bottom_Length_W1 2.5))) (list (/ Plate_Length_W1 4.0) (- 0 (+ Bottom_Length_W1 2.5))) (rtos SPAN_Length) (list (/ Plate_Length_W1 2.7) (- 0 (+ Bottom_Length_W1 2.5))) "M")
  (list (/ Plate_Length_W1 2) (- 0 (+ Bottom_Length_W1 2.5)))
)

(defun make_steel_NOS (/ diameter1 diameter2 gap
  radian cos_value distance_x distance_y)
  (if (>= Etc_Stirrup_Diameter Wall_PS_Diameter)
    (progn
      (setq diameter1 Etc_Stirrup_Diameter)
    )
  )
)

```





```

(defun c:water_bridge_view ()
  (setq view_S 1)
  (setq view_P 0)
  (setq view_L 0)
  (setq view_3 0)
  (setq view-character "project-slide(project-section-water_bridge)" )

  (c:option-view)

  (if (= ok 1)
    (progn
      R14\Project\amsi.dwg" :command "_open" "N" "D:\Program Files\AutoCAD
      )
      (:print view_S)
      (:print view_P)
      (:print view_L)
      (:print view_3)
      (:command "line" (list 0 0) (list 1 1) "")
      (if (= 1 view_S)
        (progn
          (slice-water_bridge)
          )
        (progn
          )
        )
      (if (= 1 view_3)
        (progn
          (3D-water_bridge)
          )
        (progn
          )
        )
      (if (= 1 view_P)
        (progn
          (plan-water_bridge)
          )
        (progn
          )
        )
      (if (= 1 view_L)
        (progn
          (longitudinal-water_bridge)
          )
        (progn
          )
        )
      )
    (progn
      (print "babo")
      )
  )
  (princ)
)

(defun plan-water_bridge ( )
  (command "layer" "s" "0" "")
  (command "layer" "F" "Dim_section" "")
  (command "layer" "F" "Longitudinal_section" "")

  (command "layer" "F" "기타-원치" "")
  (command "layer" "F" "판-부결림" "")
  (command "ucs" "" )
  (command "ucs" "z" 90 "")
  (command "plan" "" )
  (command "zoom" "s" 0.8 "")
)

(defun longitudinal-water_bndge ( )
  (command "layer" "s" "0" "")
  (command "layer" "F" "Dim_section" "")
  (command "layer" "F" "plan_section" "")

  (command "layer" "F" "기타-원치" "")
  (command "layer" "F" "기타-스터럽" "")
  (command "ucs" "" )
  (command "ucs" "x" 90 "" )
  (command "ucs" "y" 90 "" )
  (command "plan" "" )
  (command "zoom" "s" 0.8 "")
)

(defun 3D-water_bridge ( )
  (command "layer" "F" "Dim_section" "")
  (command "layer" "F" "plan_section" "")
  (command "layer" "F" "Longitudinal_section" "")

  (command "vpoint" (list 1 1 1) "")
  (command "layer" "make" "기타-스터럽" "color" "red" "기타-스터럽" "")
)

(defun slice-water_bridge ( )
  (command "layer" "F" "plan_section" "")
  (command "layer" "F" "Longitudinal_section" "")

  (command "ucs" "" )
  (command "ucs" "x" 90 "" )
  (command "slice" "all" "" "xy" (list 0 0 (/ Etc-Sturup-Interval 2))
)

```

```

(defun c:option-view (/ dcl_id)
  ...
  ...에러 내장 루틴
  ...
  (defun SETERR(s)
    :If an error (CTRL C) occurs when this command is active.
    (if (/ s "Function cancelled")
      (if (= s "quit" "exit" "abort")
        (princ "cancel")
        (princ (strcat "\nError " s)))
      ) of if
    ) of If
  :Restore previous error handler
  (setq *error* oer seterr nil)
  (princ)
  ) of SETERR

  (setq oer *error* *error* seterr)
  (push env)

  (setq dcl_id (load_dialog "project")) ;project.dcl load
  (if (not (new_dialog "water_bridge_view" dcl_id)) (exit));project.dcl 안의 set지정

  (start_image "view") ;image 보이기
  (fill_image
    0 0
    (dimx_tile "view") (dimy_tile "view")
    view-character
  )
  (end_image)
  (mode_tile "view_S" 2)

  (action_tile "view_S" "(make-view_S)")
  (action_tile "view_P" "(make-view_P)")
  (action_tile "view_L" "(make-view_L)")
  (action_tile "view_3" "(make-view_3)")

  (setq ok (start_dialog))
  (done_dialog)
  (unload_dialog dcl_id)
  (pop-env)
  (setq *error* oer seterr nil)

:fun make-view_S ( )
  (setq view_S (atoi $value) view_P 0 view_L 0 view_3 0)
  (setq view-character "project-slide(project-section-water_bridge)" )

  (start_image "view") ;image 보이기
  (fill_image
    0 0
    (dimx_tile "view") (dimy_tile "view")
    -2
  )
  (end_image)
  (start_image "view") ;image 보이기
  (slide_image
    0 0
    (dimx_tile "view") (dimy_tile "view")
    view-character
  )
  (end_image)

:fun make-view_P ( )
  (setq view_P (atoi $value) view_S 0 view_L 0 view_3 0)
  (setq view-character "project-slide(project-plan-water_bridge)" )

  (start_image "view") ;image 보이기
  (fill_image
    0 0
    (dimx_tile "view") (dimy_tile "view")
    -2
  )
  (end_image)
  (start_image "view") ;image 보이기
  (slide_image
    0 0
    (dimx_tile "view") (dimy_tile "view")
    view-character
  )
  (end_image)

:fun make-view_L ( )
  (setq view_L (atoi $value) view_S 0 view_P 0 view_3 0)
  (setq view-character "project-slide(project-Longi-water_bridge)" )

  (start_image "view") ;image 보이기
  (fill_image
    0 0
    (dimx_tile "view") (dimy_tile "view")
    -2
  )
  (end_image)
  (start_image "view") ;image 보이기
  (slide_image
    0 0
    (dimx_tile "view") (dimy_tile "view")
    view-character
  )
  (end_image)

:fun make-view_3 ( )
  (setq view_3 (atoi $value) view_S 0 view_P 0 view_L 0)

```



```

        view_character
    }
    (end_image)

make view_A ( )
(setq view_AA (atom $value) view_Front 0 view_Side 0 view_Up 0 view_3D 0 view_BB
(setq view_character "slab-slide(plan_lower)" )
(start_image "viewOFslab")           :image 보이기
(fill_image
  0 0
  (dimx_tile "viewOFslab") (dimy_tile "viewOFslab")
)
(end_image)

(start_image "viewOFslab")           :image 보이기
(slide_image
  0 0
  (dimx_tile "viewOFslab") (dimy_tile "viewOFslab")
  view_character
)
(end_image)

make view_B ( )
(setq view_BB (atom $value) view_Front 0 view_Side 0 view_Up 0 view_3D 0 view_AA
(setq view_character "slab-slide(plan_기복부?)")
(start_image "viewOFslab")           :image 보이기
(fill_image
  0 0
  (dimx_tile "viewOFslab") (dimy_tile "viewOFslab")
)
(end_image)

(start_image "viewOFslab")           :image 보이기
(slide_image
  0 0
  (dimx_tile "viewOFslab") (dimy_tile "viewOFslab")
  view_character
)
(end_image)

make view_3 ( )
(setq view_3D (atom $value) view_Front 0 view_Side 0 view_Up 0 view_AA 0 view_BB
(setq view_character "slab-slide(합체도?)")
(start_image "viewOFslab")           :image 보이기
(fill_image
  0 0
  (dimx_tile "viewOFslab") (dimy_tile "viewOFslab")
)
(end_image)

(start_image "viewOFslab")           :image 보이기
(slide_image
  0 0
  (dimx_tile "viewOFslab") (dimy_tile "viewOFslab")
  view_character
)
(end_image)

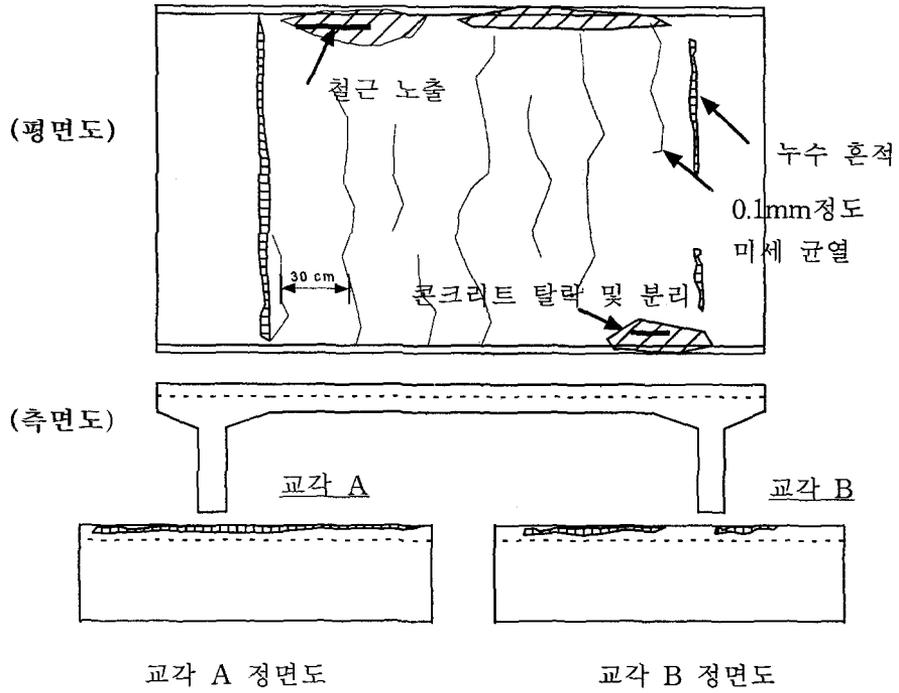
```

여 백

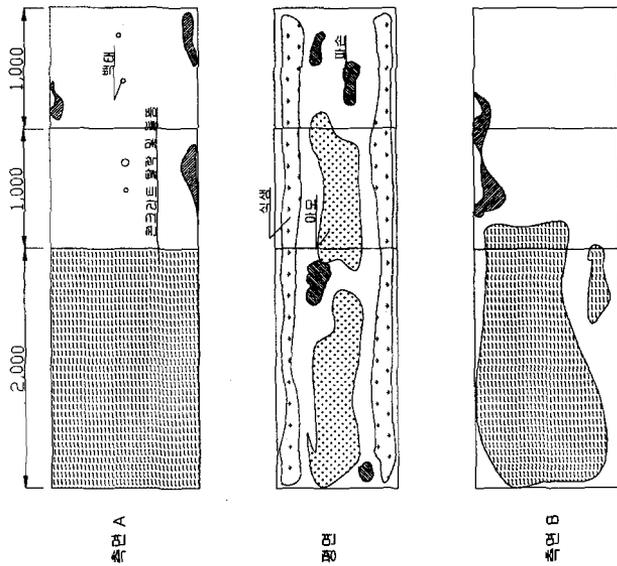
### 부록Ⅲ. 농업구조물의 열화 현황도

여 백

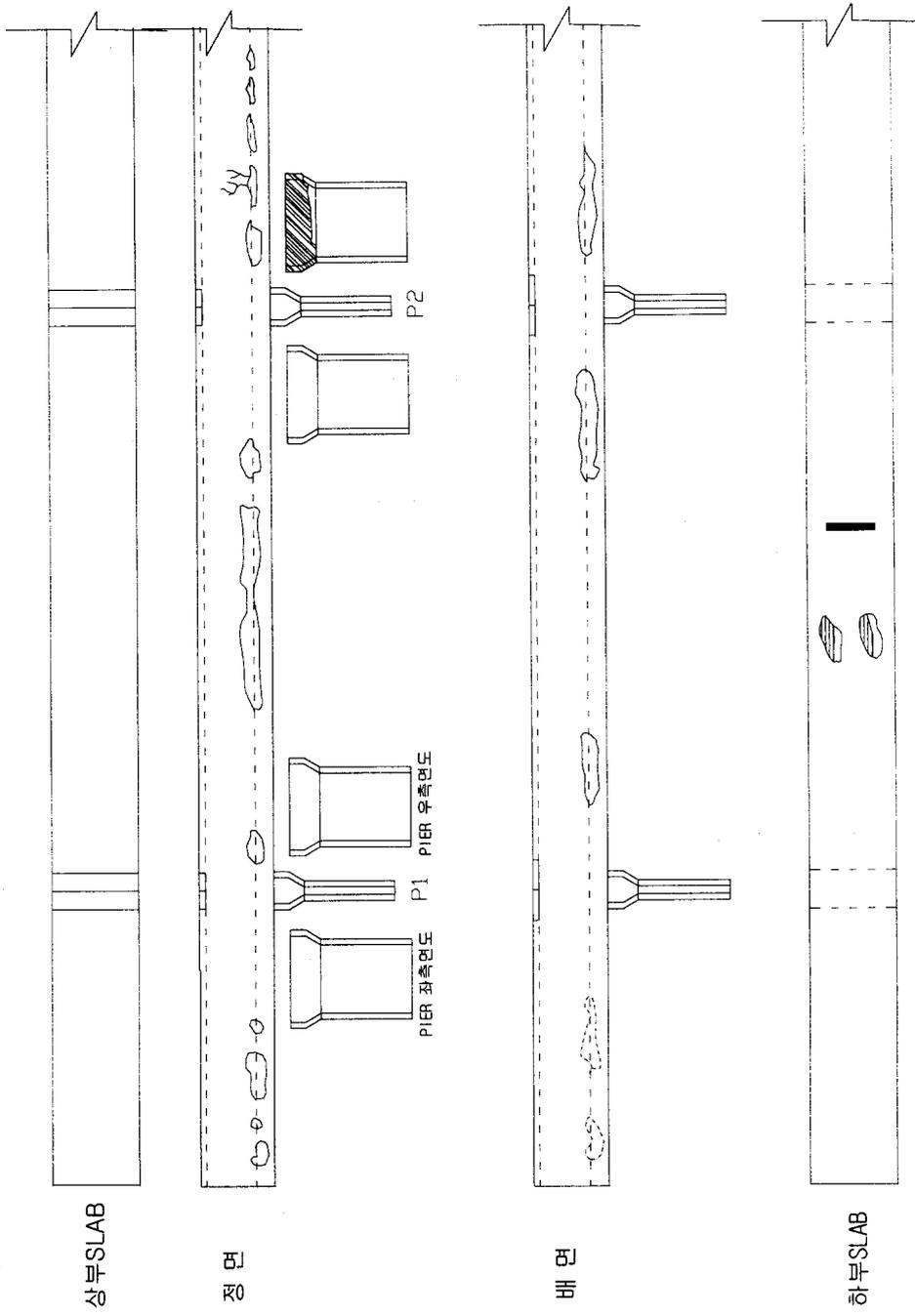
[농로교 외관 조사]



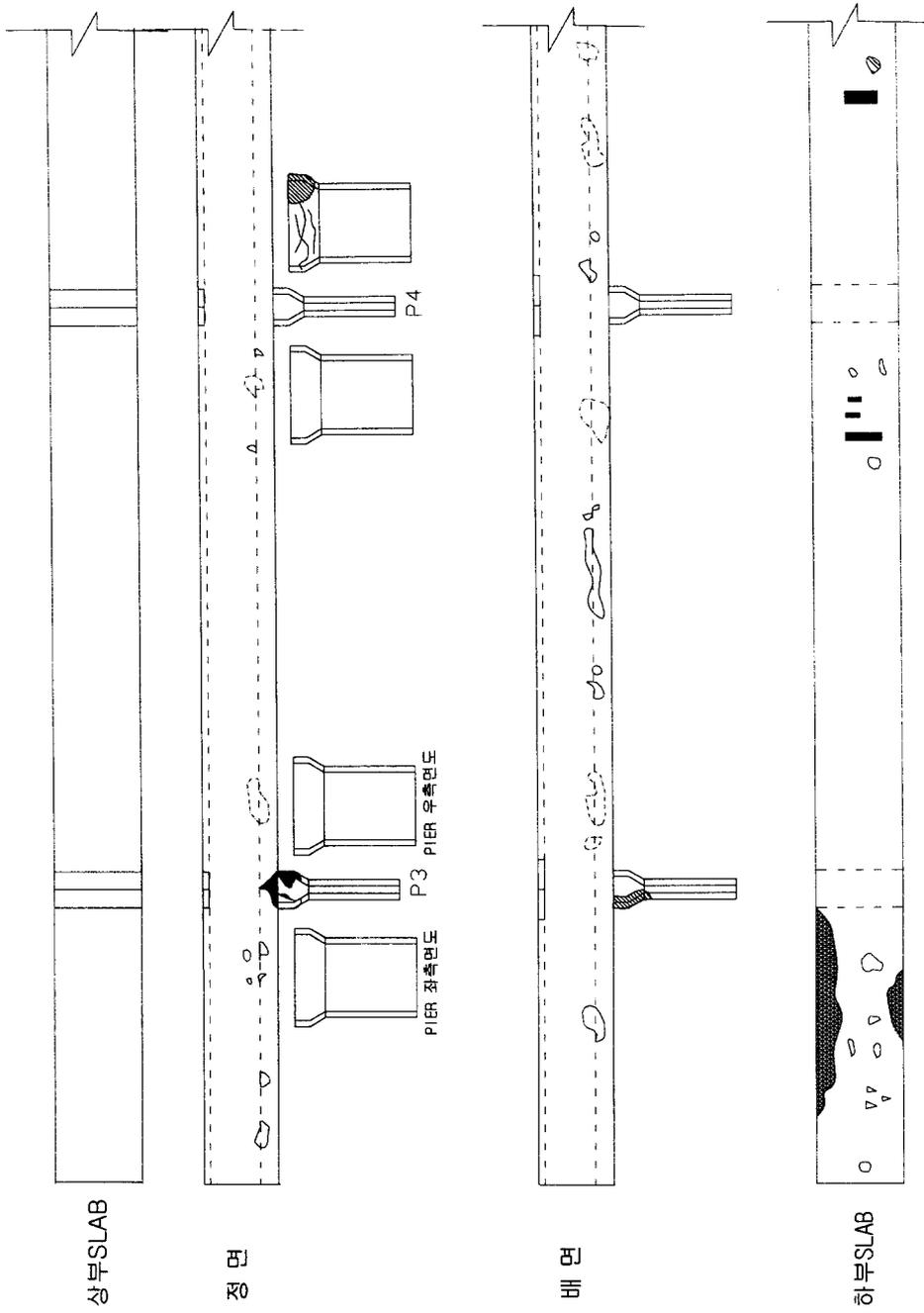
[배수로 외관조사]



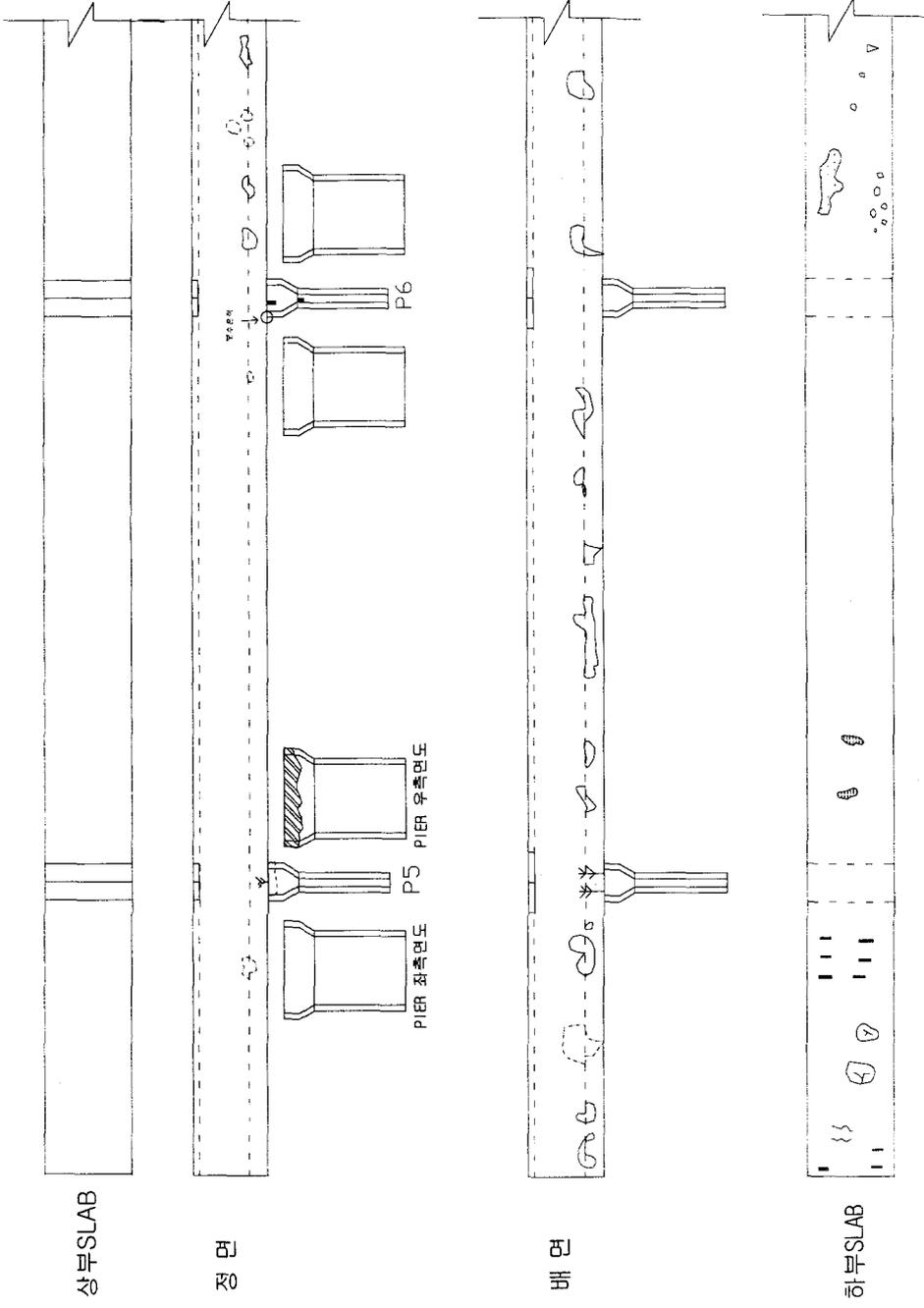
구간 1



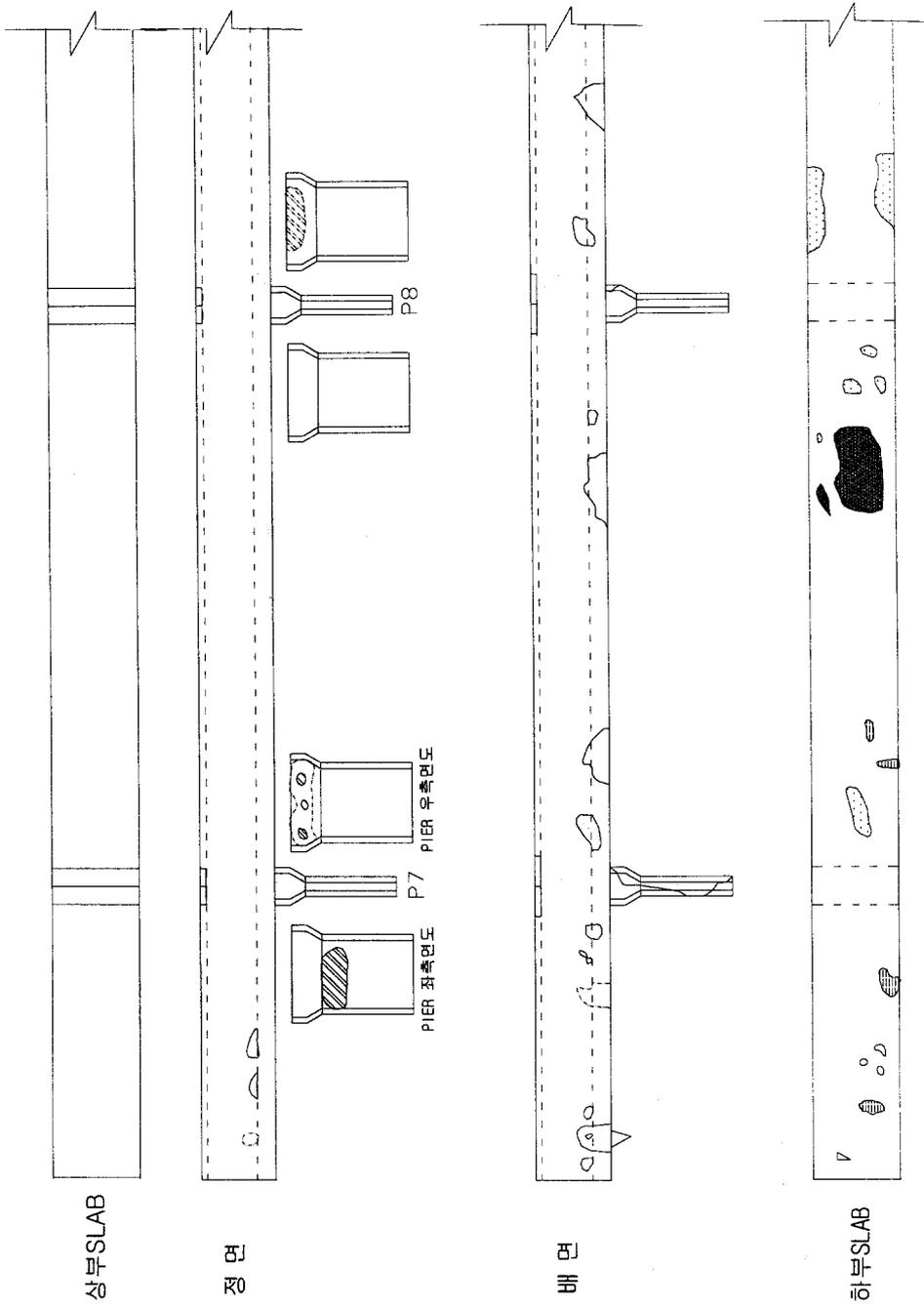
구간 2



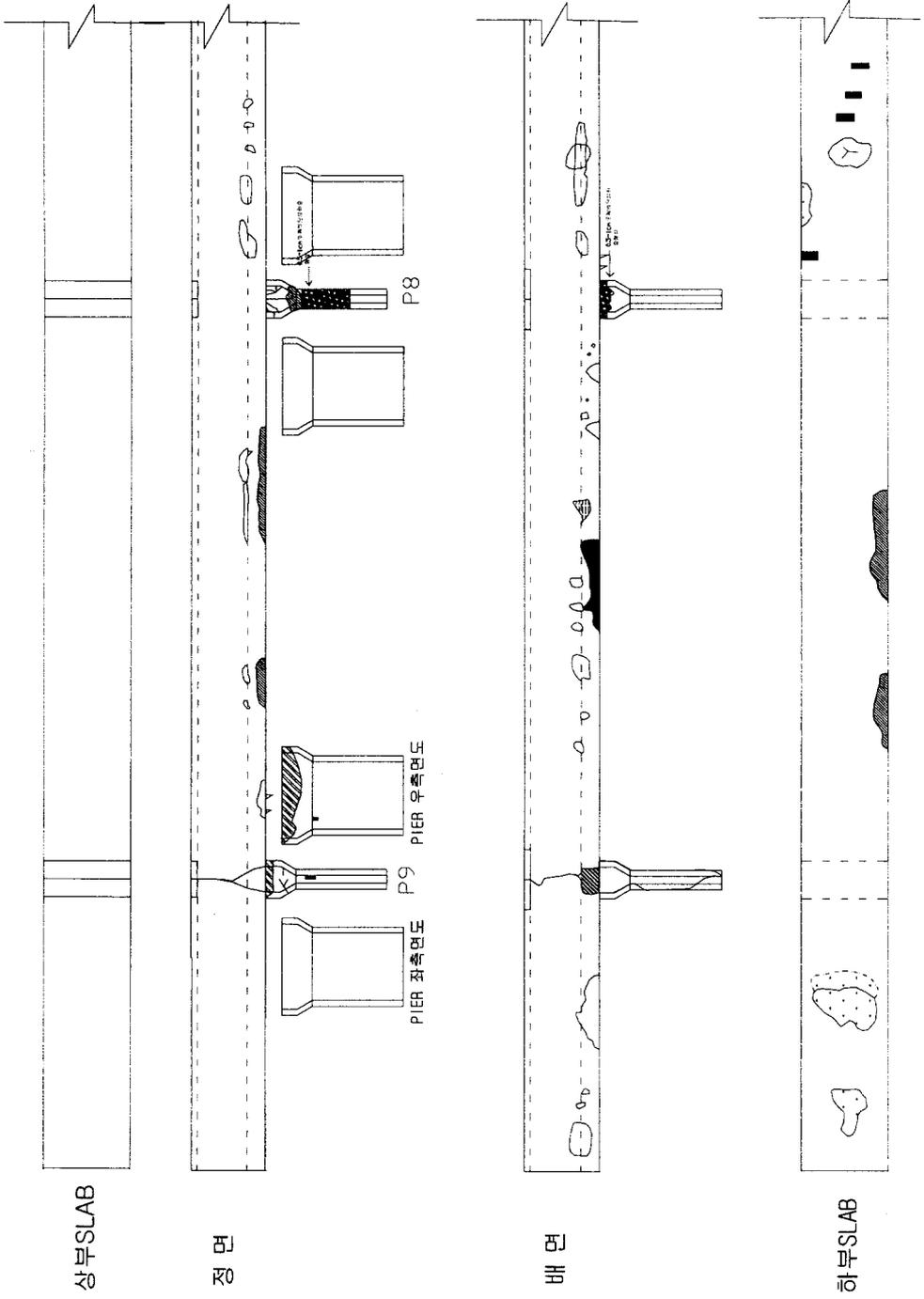
구간 3



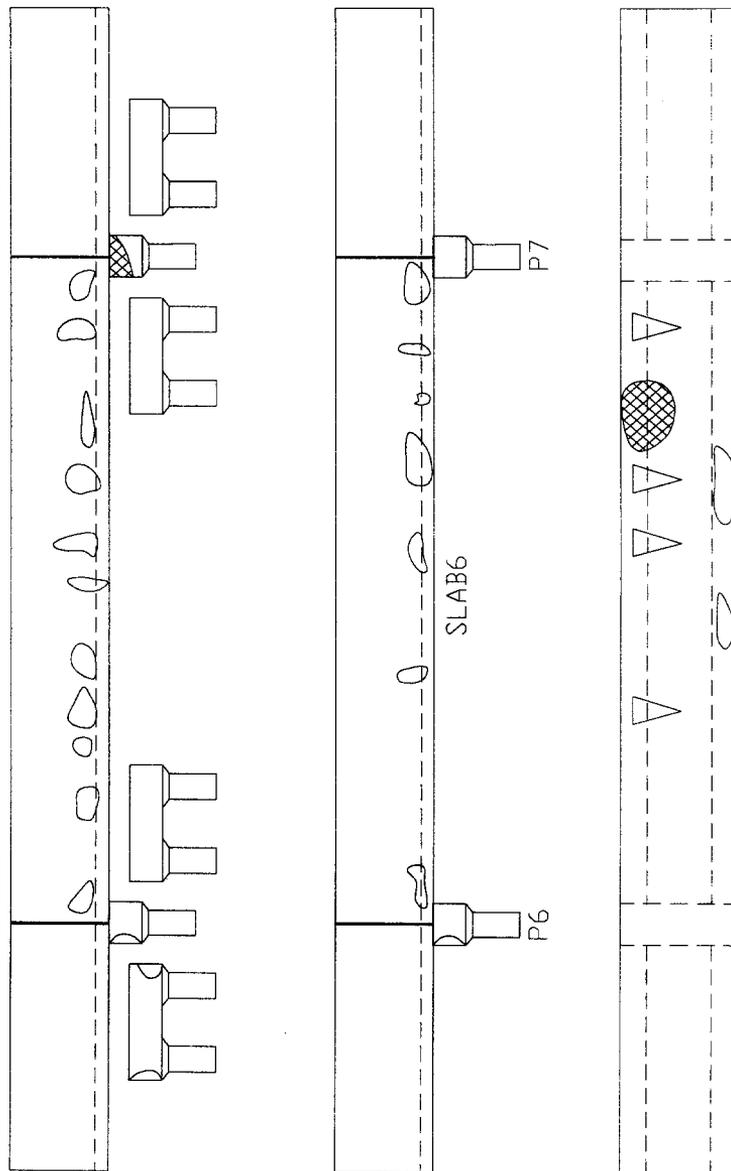
구간 4



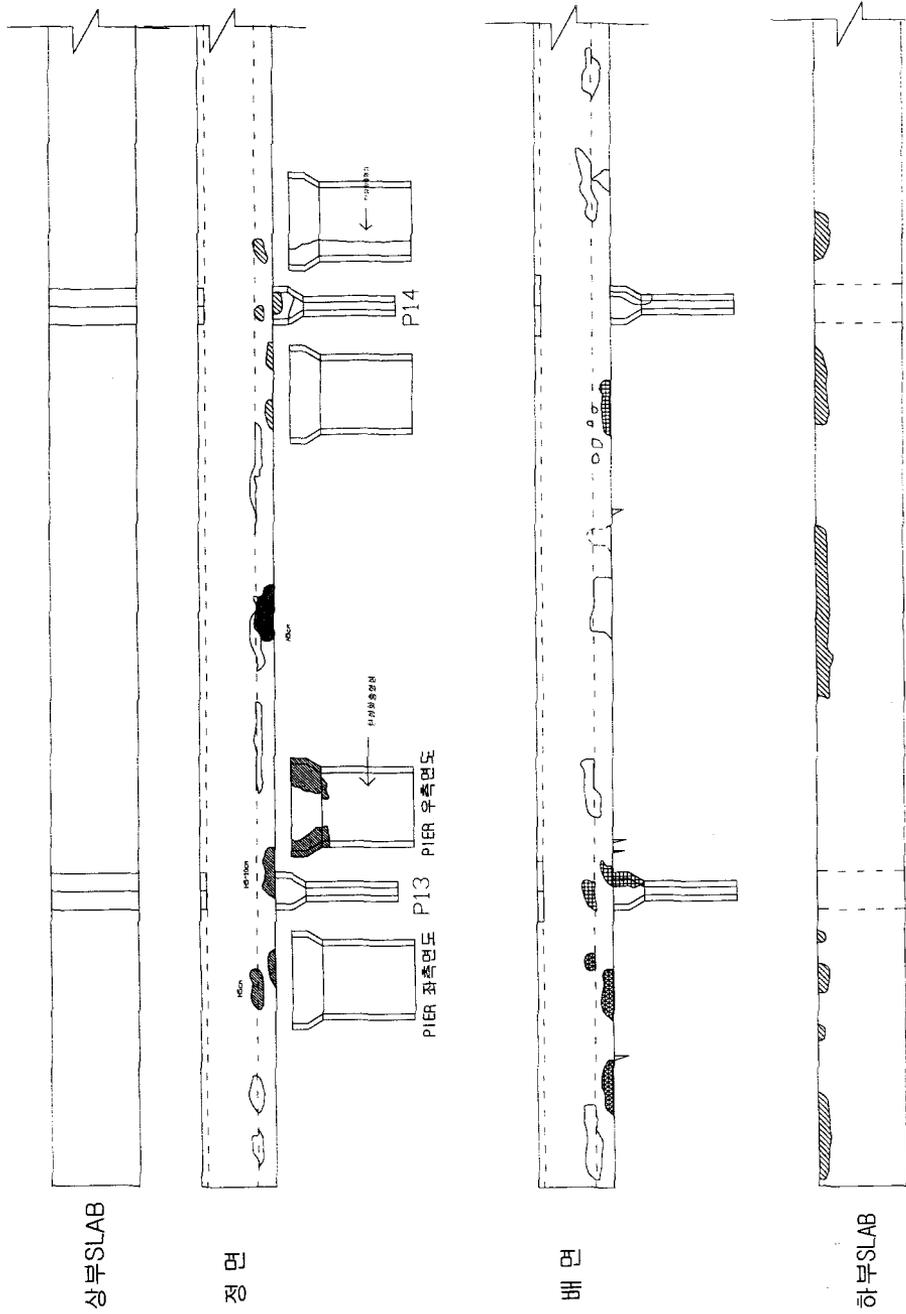
구간 5



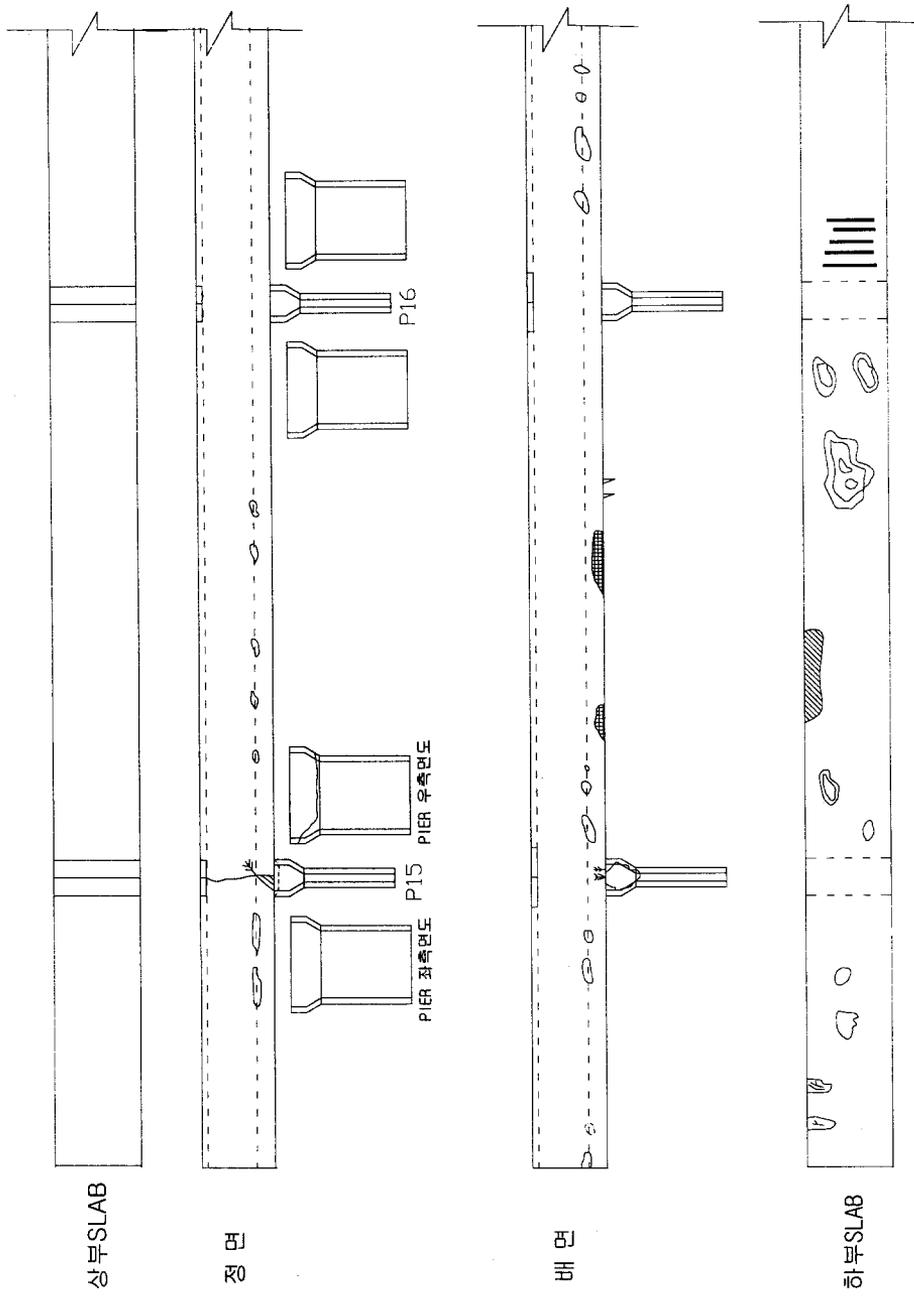
# 구간6



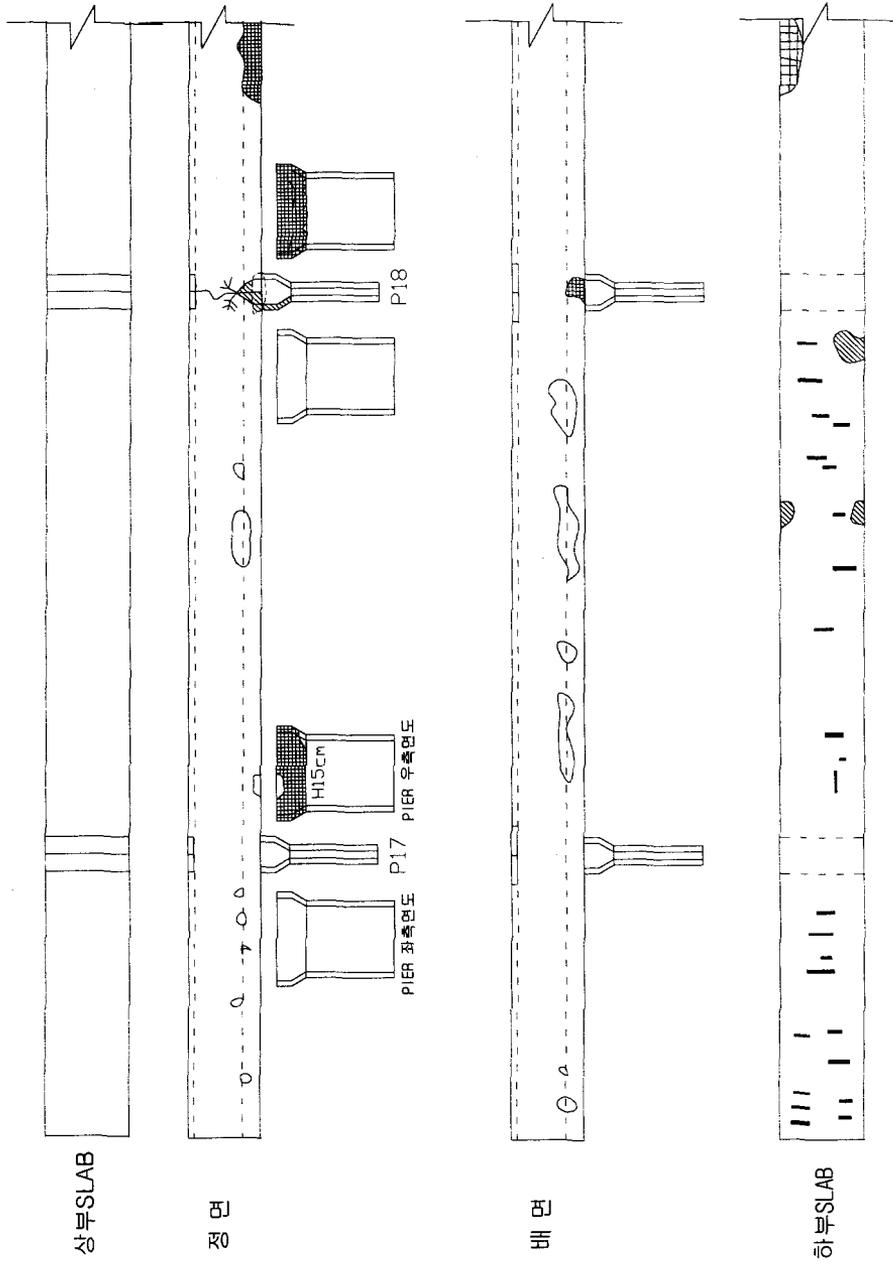
구간 7



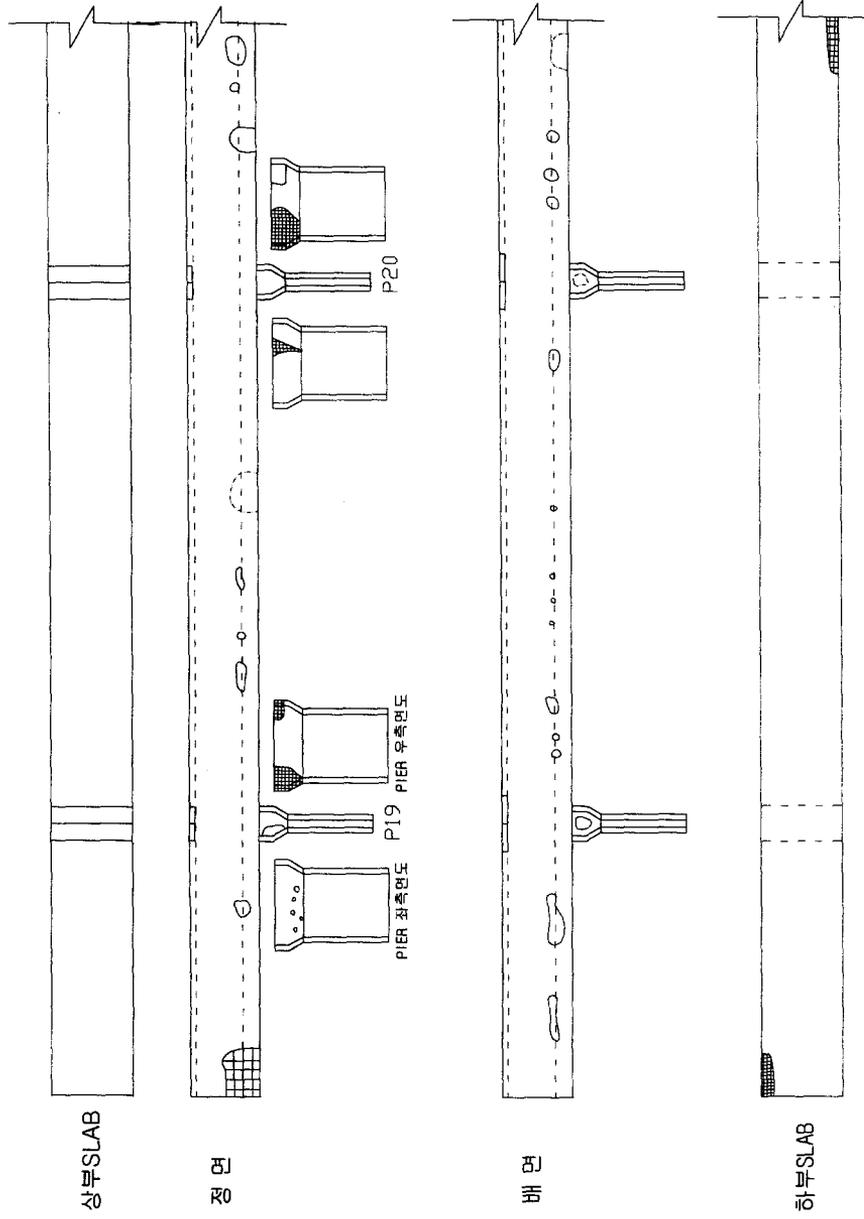
구간 8



구간 9



구간 10



구간 11

