

2007年 2月
博士學位論文

피지신뢰성 이론에 의한 항만구조물의
 VE/LCC 분석에 관한 연구

朝鮮大學校 大學院

土 木 工 學 科

劉 德 贊

퍼지신뢰성 이론에 의한 항만구조물의

VE/LCC 분석에 관한 연구

A Study on the Fuzzy Reliability-Based

VE/LCC Analysis in Harbor Structures

2007年 2月 日

朝鮮大學校 大學院

土 木 工 學 科

劉 德 贊

퍼지신뢰성 이론에 의한 항만구조물의
 VE/LCC 분석에 관한 연구

指導教授 安鍾弼

이 論文을 工學博士 學位論文으로 提出함.

2006年 12月 日

朝鮮大學校 大學院

土木工學科

劉 德 贊

劉德贊의 博士學位 論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 教授 _____ (印)

委員 서울市立大學校 教授 _____ (印)

委員 東新大學校 教授 _____ (印)

委員 朝鮮大學校 教授 _____ (印)

委員 朝鮮大學校 教授 _____ (印)

2006年 12月 日

朝鮮大學校 大學院

목 차

표 차례	v
그림 차례	viii
기호	xiii
Abstract	xv
제1장 서론	1
1.1 연구목적	1
1.2 연구동향	3
1.3 연구방법	8
제2장 VE/LCC 분석이론	10
2.1 VE분석기법	10
2.1.1 VE의 개념 및 목적	10
2.1.2 가치의 개념과 VE의 절차	13
2.1.3 VE의 수행 프로세스 및 기법	16
2.1.4 VE의 의사결정기법	18
2.2 LCC 분석기법	22
2.2.1 LCC의 개념 및 목적	22
2.2.2 LCC의 비용항목과 할인율	24
2.2.3 LCC의 분석 절차	27
2.2.4 확정론적 LCC 분석기법	28
2.2.5 확률론적 LCC 분석기법	29
2.3 VE 및 LCC 분석의 상관성과 절차	32

제3장	퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석모델	34
3.1	퍼지신뢰성 이론	34
3.1.1	퍼지로직 이론	34
3.1.2	신뢰성 이론	37
3.2	항만구조물의 퍼지신뢰성 분석모델	42
3.2.1	파괴가능성의 정의	42
3.2.2	항만구조물 부재요소의 퍼지신뢰성 해석	44
3.2.3	시간이력의 주관적 보유신뢰성 해석 모델	45
3.2.4	항만구조물의 퍼지결함수분석 기법	46
3.2.5	퍼지신뢰성에 의한 항만구조물의 상태평가 기준	48
3.3	항만구조물의 VE/LCC 분석모델	49
3.3.1	정성적 평가기법	49
3.3.2	정량적 평가기법	51
3.3.3	퍼지신뢰성 평가기법	55
제4장	항만구조물의 VE/LCC 적용 및 분석	58
4.1	VE/LCC 프로그램 및 적용기준	58
4.1.1	항만구조물의 VE/LCC 분석 프로그램	58
4.1.2	프로그램 사용법	60
4.1.3	VE/LCC 분석 방향	63
4.1.4	VE/LCC 분석을 위한 적용기준	65
4.2	방과제의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석	67
4.2.1	적용대상의 선정	67
4.2.2	정성적 평가결과 및 분석	69
4.2.3	정량적 평가결과 및 분석	74
4.2.4	퍼지신뢰성 평가결과 및 분석	76
4.2.5	방과제의 VE/LCC 분석 종합결과	81

4.3 안벽의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석	82
4.3.1 적용대상의 선정	82
4.3.2 정성적 평가결과 및 분석	84
4.3.3 정량적 평가결과 및 분석	89
4.3.4 퍼지신뢰성 평가결과 및 분석	91
4.3.5 안벽의 VE/LCC 분석 종합결과	96
4.4 호안의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석	97
4.4.1 적용대상의 선정	97
4.4.2 정성적 평가결과 및 분석	99
4.4.3 정량적 평가결과 및 분석	105
4.4.4 퍼지신뢰성 평가결과 및 분석	107
4.4.5 호안의 VE/LCC 분석 종합결과	112
제5장 분석 및 고찰	113
5.1 분석조건 및 범위	113
5.2 방파제의 VE/LCC 분석	114
5.2.1 퍼지신뢰성 해석모델 분석	114
5.2.2 사후 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석	116
5.2.3 예방 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석	118
5.2.4 사후 유지관리를 통한 자산가치 분석	120
5.2.5 예방 유지관리를 통한 자산가치 분석	121
5.2.6 퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석	122

5.3 안벽의 VE/LCC 분석	133
5.3.1 퍼지신뢰성 해석모델 분석	133
5.3.2 사후 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석	135
5.3.3 예방 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석	137
5.3.4 사후 유지관리를 통한 자산가치 분석	139
5.3.5 예방 유지관리를 통한 자산가치 분석	140
5.3.6 퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석	141
5.4 호안의 VE/LCC 분석	152
5.4.1 퍼지신뢰성 해석모델 분석	152
5.4.2 사후 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석	154
5.4.3 예방 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석	156
5.4.4 사후 유지관리를 통한 자산가치 분석	158
5.4.5 예방 유지관리를 통한 자산가치 분석	159
5.4.6 퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석	160
제6장 결 론	171
참 고 문 헌	173

표 차례

표 2.1 성능과 비용 및 가치의 관계	14
표 2.2 FHWA의 VE 검토회의의 제반검토사항	17
표 2.3 Saaty의 가중치 선정을 위한 배점의 판단기준	19
표 2.4 LCC 분석을 위한 건설사업의 비용항목	24
표 2.5 실질할인율에 대한 변화의 추이	26
표 2.6 입력변수에 대한 특성치 형성을 위한 확률분포의 종류	31
표 3.1 구조물의 신뢰성 해석 및 설계방법	38
표 3.2 신뢰성지수 β 와 파괴확률 Pf와의 관계	40
표 3.3 m, k와 언어변수	43
표 3.4 퍼지신뢰성에 의한 상태등급의 평가기준 및 유지관리 대책	48
표 3.5 열화성능을 고려한 퍼지신뢰성 해석모델	50
표 3.6 시간의존적 LCC 분석모델	51
표 3.7 시간의존적 자산가치 분석모델	51
표 3.8 시간의존적 생애주기 프로파일 추정식	52
표 3.9 생애주기 동안의 항만구조물에 대한 비용분류항목	53
표 3.10 성과측정 및 경제성평가	54
표 3.11 퍼지론적 통합 VE 분석방법	55
표 3.12 기존 확정론적 VE 분석방법	56
표 3.13 통합 가치분석을 위한 평가지표	57
표 4.1 단계별 가중 평가치 판정기준	64
표 4.2 항만구조물의 내용년수	66
표 4.3 방파제구조물의 성능평가 기준항목 설정	69
표 4.4 AHP 분석에 의한 방파제의 품질모델 산정결과	70
표 4.5 각 성능평가항목에 대한 대안별 등급	72

표 4.6	각 성능평가항목에 대한 대안별 기능점수	72
표 4.7	각 성능평가항목에 대한 대안별 열화성능점수	73
표 4.8	대안별 LCC 분석결과	74
표 4.9	성과측정 및 경제성 평가 분석결과	75
표 4.10	대안별 퍼지신뢰성 해석의 결과	76
표 4.11	대안별 신뢰성 및 유지관리 전략 분석결과 비교	77
표 4.12	통합 가치분석을 위한 평가지표 산정결과	78
표 4.13	방과제의 원안·대안 1 가치점수 및 가치향상지수	79
표 4.14	방과제의 대안 2·대안 3 가치점수 및 가치향상지수	80
표 4.15	방과제의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석 종합결과	81
표 4.16	안벽시설물의 성능평가 기준항목 설정	84
표 4.17	AHP 분석에 의한 안벽의 품질모델 산정결과	85
표 4.18	각 성능평가항목에 대한 대안별 등급	87
표 4.19	각 성능평가항목에 대한 대안별 기능점수	87
표 4.20	각 성능평가항목에 대한 대안별 열화성능점수	88
표 4.21	대안별 LCC 분석결과	90
표 4.22	성과측정 및 경제성 평가 분석결과	90
표 4.23	대안별 퍼지신뢰성 해석의 결과	91
표 4.24	대안별 신뢰성 및 유지관리전략 분석결과 비교	92
표 4.25	통합 가치분석을 위한 평가지표 산정결과	93
표 4.26	안벽의 원안·대안 1 가치점수 및 가치향상지수	94
표 4.27	안벽의 대안 2·대안 3 가치점수 및 가치향상지수	95
표 4.28	안벽의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석 종합결과	96
표 4.29	호안구조물의 성능평가 기준항목 선정	99
표 4.30	AHP 분석에 의한 호안의 품질모델 산정결과	100
표 4.31	각 성능평가항목에 대한 대안별 등급	102

표 4.32	각 성능평가항목에 대한 대안별 기능점수	103
표 4.33	각 성능평가항목에 대한 대안별 열화성능점수	104
표 4.34	대안별 LCC 분석결과	105
표 4.35	호안의 성과측정 및 경제성 평가 분석결과	106
표 4.36	대안별 퍼지신뢰성 해석의 결과	107
표 4.37	대안별 신뢰성 및 유지관리전략 분석결과 비교	108
표 4.38	통합 가치분석을 위한 평가지표 산정결과	109
표 4.39	호안의 원안·대안 1 가치점수 및 가치향상지수	110
표 4.40	호안의 대안 2·대안 3 가치점수 및 가치향상지수	111
표 4.41	호안의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석 종합결과	112
표 5.1	항만구조물에 대한 VE/LCC 적용결과의 분석 및 고찰내용	113

그림 차례

그림 1.1 연구의 절차 및 범위	9
그림 2.1 가치저감요인에 따른 VE의 필요성	11
그림 2.2 VE가 필요한 건설사업의 유형	11
그림 2.3 VE에 따른 사업의 진행과 비용결정의 상관도표	12
그림 2.4 VE의 실시시기와 효과	12
그림 2.5 건설 VE에서 가치의 척도	13
그림 2.6 건설 VE에서 가치향상의 유형	14
그림 2.7 Caltrans의 VE 수행절차	15
그림 2.8 건설 VE의 수행 프로세스	16
그림 2.9 AHP 기법을 통한 최적안 선정과정	18
그림 2.10 건설사업에서의 생애주기비용	22
그림 2.11 LCC 기법의 도입시기와 비용절감 가능성	23
그림 2.12 시설물의 LCC에 대한 비용항목	25
그림 2.13 시간에 따른 현재의 비용가치와 할인율과의 관계	26
그림 2.14 건설사업에서의 LCC의 분석절차	27
그림 2.15 통계적인 데이터가 충분한 경우	29
그림 2.16 통계적인 데이터가 불충분한 경우	29
그림 2.17 비용의 발생빈도 분포	30
그림 2.18 비용의 누적발생빈도 분포	30
그림 2.19 설계 VE와 LCC의 관계에 대한 개념도	32
그림 2.20 VE 및 LCC 절차	33
그림 3.1 퍼지로지적 제어시스템	36

그림 3.2 신뢰성지수	37
그림 3.3 퍼지확률	42
그림 3.4 파괴가능성	42
그림 4.1 항만구조물의 VE/LCC 분석 프로그램 흐름도	59
그림 4.2 초기화면	60
그림 4.3 기본정보 입력화면	61
그림 4.4 TTP 피복 케이슨 직립제 방파제 단면형상	67
그림 4.5 외측 TTP 피복 케이슨 혼성제 방파제 단면형상	68
그림 4.6 내외측 TTP 피복 케이슨 혼성제 방파제 단면형상	68
그림 4.7 곡면 슬릿 케이슨 방파제 단면형상	68
그림 4.8 방파제의 품질모델	70
그림 4.9 방파제 평가항목의 가중치	71
그림 4.10 소형 케이슨 안벽 단면형상	82
그림 4.11 소파 대형 케이슨식 안벽 단면형상	83
그림 4.12 Semi-hybrid 케이슨식 안벽 단면형상	83
그림 4.13 광폭 케이슨식 안벽 단면형상	83
그림 4.14 안벽의 품질모델	85
그림 4.15 안벽 평가항목의 가중치	86
그림 4.16 MPB 호안블록식 호안 단면형상	97
그림 4.17 MPB, G-2 호안블록식 호안 단면형상	98
그림 4.18 G-3E형 호안블록식 호안 단면형상	98
그림 4.19 IGLOO 블록식 호안 단면형상	98
그림 4.20 호안 품질모델	101
그림 4.21 호안 평가항목의 가중치	101

그림 5.1 언어적 정보에 따른 방과제의 원안 파괴가능성	114
그림 5.2 언어적 정보에 따른 방과제의 대안 1 파괴가능성	115
그림 5.3 언어적 정보에 따른 방과제의 대안 2 파괴가능성	115
그림 5.4 언어적 정보에 따른 방과제의 대안 3 파괴가능성	115
그림 5.5 방과제의 1회 사후 유지관리 대안별 LCP	116
그림 5.6 방과제의 4회 사후 유지관리 대안별 LCP	117
그림 5.7 방과제의 1회 예방 유지관리 대안별 LCP	118
그림 5.8 방과제의 4회 예방 유지관리 대안별 LCP	119
그림 5.9 방과제의 사후 유지관리 대안별 자산가치	120
그림 5.10 방과제의 예방 유지관리 대안별 자산가치	121
그림 5.11 방과제의 대안별 기능점수의 평가	122
그림 5.12 방과제에 대한 대안별 성능점수의 평가	123
그림 5.13 방과제의 대안별 가치점수의 평가	124
그림 5.14 방과제의 대안별 보수·보강 전후 잔여수명의 평가	125
그림 5.15 방과제의 대안별 유지관리 조치 시기에 따른 공용년수의 평가	126
그림 5.16 방과제의 대안별 유지관리 조치 시기에 따른 신뢰성지수의 평가	127
그림 5.17 방과제의 대안별 경제성 평가	128
그림 5.18 방과제의 대안별 기능·상태·성능지수의 평가	129
그림 5.19 방과제의 대안별 성능·비용·가치평가	130
그림 5.20 방과제의 대안별 기능·성능·가치평가	131
그림 5.21 방과제의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 LCC 평가	132
그림 5.22 방과제에 대한 대안별 총 LCC평가의 비교	132
그림 5.23 언어적 정보에 따른 안벽의 원안 파괴가능성	133
그림 5.24 언어적 정보에 따른 안벽의 대안 1 파괴가능성	134

그림 5.25 언어적 정보에 따른 안벽의 대안 2 파괴가능성	134
그림 5.26 언어적 정보에 따른 안벽의 대안 3 파괴가능성	134
그림 5.27 안벽의 1회 사후 유지관리 대안별 LCP	135
그림 5.28 안벽의 4회 사후 유지관리 대안별 LCP	136
그림 5.29 안벽의 1회 예방 유지관리 대안별 LCP	137
그림 5.30 안벽의 4회 예방 유지관리 대안별 LCP	138
그림 5.31 안벽의 사후 유지관리 대안별 자산가치	139
그림 5.32 안벽의 사후 유지관리 대안별 총LCC	139
그림 5.33 안벽의 예방 유지관리 대안별 자산가치	140
그림 5.34 안벽의 예방 유지관리 대안별 총LCC	140
그림 5.35 안벽의 대안별 기능점수의 평가	141
그림 5.36 안벽의 대안별 성능점수의 평가	142
그림 5.37 안벽의 대안별 가치점수의 평가	143
그림 5.38 안벽의 대안별 보수·보강 전후 잔여수명의 평가	144
그림 5.39 안벽의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 공용년수의 평가	145
그림 5.40 안벽의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 신뢰성 지수의 평가	146
그림 5.41 안벽의 대안별 경제성 평가	147
그림 5.42 안벽의 대안별 기능·상태·성능지수의 평가	148
그림 5.43 안벽의 대안별 성능·비용·가치평가	149
그림 5.44 안벽의 대안별 기능·성능·가치 평가의 비교	150
그림 5.45 안벽의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 LCC 평가	151
그림 5.46 안벽의 대안별 투자비에 따른 LCC 평가	151
그림 5.47 언어적 정보에 따른 호안의 원안 파괴가능성	152
그림 5.48 언어적 정보에 따른 호안의 대안 1 파괴가능성	153

그림 5.49 언어적 정보에 따른 호안의 대안 2 파괴가능성	153
그림 5.50 언어적 정보에 따른 호안의 대안 3 파괴가능성	153
그림 5.51 호안의 1회 사후 유지관리 대안별 LCP	154
그림 5.52 호안의 4회 사후 유지관리 대안별 LCP	155
그림 5.53 호안의 1회 예방 유지관리 대안별 LCP	156
그림 5.54 호안의 4회 예방 유지관리 대안별 LCP	157
그림 5.55 호안의 사후 유지관리 대안별 자산가치	158
그림 5.56 호안의 사후 유지관리 대안별 총LCC	158
그림 5.57 호안의 예방 유지관리 대안별 자산가치	159
그림 5.58 호안의 예방 유지관리 대안별 총LCC	159
그림 5.59 호안의 대안별 기능점수의 평가	160
그림 5.60 호안의 대안별 성능점수의 평가	161
그림 5.61 호안의 대안별 가치점수의 평가	162
그림 5.62 호안의 대안별 보수·보강 전후의 잔여수명의 평가	163
그림 5.63 호안의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 공용년수의 평가	164
그림 5.64 호안의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 신뢰성지수의 평가	165
그림 5.65 호안의 대안별 경제성 평가	166
그림 5.66 호안의 대안별 상태·기능·성능지수의 평가	167
그림 5.67 호안에 대한 대안별 성능·비용·가치 평가의 비교	168
그림 5.68 호안의 대안별 유지관리 조치시에 따른 LCC 평가	169
그림 5.69 호안의 투자비에 따른 총 LCC 평가	169

기 호

A	: 쌍대비교 행렬, 반복비용
AHP	: 계층화분석
α_s	: 하중효과의 선형화계수
β	: 신뢰성지수
$\beta_{F(t_0)}$: 퍼지신뢰성지수
C_k	: k년에 발생하는 모든 비용
C.I	: 일관성지수
CII	: 비용절감지수
C.R	: 일관성비율
C.I	: 일관성지수
D.R	: 품질모델 가중치
$D(\lambda)$: 특성방정식
EII	: 경제성 평가지수
FHM	: 기능계통도
I	: 실질할인율
I	: 실질이자율
IC	: 초기비용
j	: 물가상승율
k	: 평균퍼지확률
LCC	: 생애주기비용
LCCA	: 생애주기비용분석
LCP	: 생애주기 프로파일

N	: LCC 분석기간
P	: 현재가치
P_f	: 파괴확률
PVD	: 처리비용의 현재가치
PVOMR	: 유지관리비용의 현재가치
PVLCC	: 현재가치의 총기대비용
QPI	: 성능점수
R	: 대안의 종합성능
R.I	: 성능등급
S	: 하중효과
t	: 공용년수
VA	: 가치분석
VE	: 가치공학
VII	: 가치향상지수
VM	: 가치관리
VEP	: 가치공학 제안
λ	: 특성방정식의 근
λ_{\max}	: 최대고유치
Ω_s	: 하중효과의 변동계수
$\Psi_{\beta_x}(t)$: 열화성능함수
W	: 고유치 λ 에 대한 행렬 A의 고유벡터
Z	: 저항과 하중작용의 차

Abstract

A Study on the Fuzzy Reliability-Based VE/LCC Analysis in Harbor Structures

Yu, Deog-Chan

Advisor : Prof. Ahn, Jong-Pil, Ph.D.

Department of civil engineering,

Graduate School of Chosun University

The traditional analysis of VE/LCC on the harbor structure has been commonly performed in design phase. The qualitative evaluation by expert has been mainly done based on the type of construction method, construction and maintenance cost. For the enhanced performance and minimized cost of harbor structure the application of best value response method is necessary. Fuzzy theory capable of handling uncertainty of subjective data has been studied for the purpose of developing a primitive reliability analysis model

In this study the program called "CALLIFE" compatible with commercial program MATLAB is developed. It could possibly analyze life cycle cost and integrated value by Fuzzy reliability theory utilizing fuzzy logic tool box which can evaluate deterioration rate of targeted harbor structure.

For the verification and application of developed program, the integrated value analysis of various harbor structures such as breakwater, wharf and shore

protection is performed by using three different analysis method; qualitative estimation of deterioration rate, quantitative estimation of LCC and integrated value analysis.

The results of integrated value analysis for the breakwater and the wharf give better index value in the area of condition, performance, relative LCC, reliability, value improvement and maintenance. The innovative value type could become as optimum method. On the other hand for the shore protection, the index value of the function and deterioration performance gives little lessor value while those of value improvement index based on LCC and fuzzy reliability show more or less favorable value.

The cost reduction type could be selected for optimum design method. Therefore it can be concluded that the application of integrated value analysis based on fuzzy reliability theory could provide more rational results compared with the results of application of existing deterministic VE/LCC analysis.

It can be concluded that the application of integrated value analysis could be more economical in the decision making compared with the application of the deterministic analysis method. Because the integrated value analysis method includes analysing for the LCC and time dependent value by predicting a residual life and proper time for a maintenance based on the life cycle profile which considered by adopting Fuzzy reliability theory.

By construction of Time dependent LCC analysis model using relative LCC index based on estimation of deterioration performance and maintenance level and Life cycle profile based on relative value index, future maintenance method

can be selected. Rational maintenance strategy for present and future also can be determined by cost analysis. In this study the integrated value analysis method for LCC of harbor structure based on Fuzzy reliability theory is proposed. This theory is capable of handling qualitative estimation by expert's experience and subjective view and quantitative estimation based on uncertainty, vulnerability, and deterioration performance

In the process of VE/LCC analysis using CALLIFE based on Fuzzy reliability theory, all data including function, performance, reliability, LCC and value could be easily compared with the results of existing Deterministic method.

The optimum design method can be selected above comparison. Thus If database for the managing system of all social overhead capital including harbor structure is available, an accurate and reliable analytical system for the prediction LCC and the estimation of integrated value could be achieved.

제1장 서론

1.1 연구목적

우리나라는 지형적인 삼면이 바다이고 한쪽이 대륙으로 연결되어 있으며 외국과의 경제교역은 주로 항만을 통해서 이루어지고 있으며, 현재 우리나라 한반도를 해상운송의 동북아 물류허브로 육성하기 위한 전략으로 광양항과 부산항, 인천항에 부가가치를 창출하는 대형 중추항만으로 집중적인 투자를 하고 있다. 또한 향후 예상되는 항만 물동량의 증가에 따라 항만건설이 급격히 증가하고 있으며 점차 대형화 고급화 및 첨단화되는 추세이다.

항만시설물 중 외곽시설로는 항내의 수면을 조용하게 하고 수심을 유지하며 보호하기 위하여 외해측에 설치하는 구조물로서, 외해로부터 밀려오는 파랑을 막아주는 방파제와 조류나 파랑으로 해안이 침식되거나 해안의 흙이 붕괴되는 것을 막기 위해 육지를 떠받치는 호안 및 방사제나 도류제 등이 있다.

선박을 육지에 대고 화물을 싣고 내리거나 사람이 타고 내리는 설비인 계류시설에는 구조양식에 따라 안벽 및 물량장, 잔교, 돌핀, 선착장, 램프 등이 있다.

위와 같은 항만구조물의 성공적인 축조 및 관리를 위해서는 계획 설계단계에서 충분한 내구성, 시공의 안전성 확보 및 유지관리의 최소화, 친환경 및 해양생태계 등을 보호할 수 있는 구조물의 면밀한 검토가 이루어져야 한다.

또한, 사업의 타당성과 객관성을 확보하기 위해서는 공사비 절감뿐 아니라 총생애주기비용을 절감하기 위한 기술의 선진화와 VE/LCC의 연구개발과 지속적인 발전이 더욱더 필요한 실정이다.

항만구조물을 포함한 사회기반시설은 국가경쟁력의 강화와 직결되어 있기 때문에 공공사업의 비효율화에 대한 전문가의 지적이 끊이지 않는 실정으로서 이는 국가경쟁력을 약화시키는 요인이 되고 있다는 지적을 받고 있다.

이에 따라 정부의 공공건설사업에 대한 효율화 대책의 일환으로 건설사업의 경제적 타당성을 검토하도록 설계 VE와 생애주기비용 등을 의무화하면서 본격적으로 시설물에 대한 초기건설비 이외의 유지관리비용 등을 고려하기 시작하였다.

그러나 기존의 VE/LCC 분석은 공법의 선정과 건설비용 그리고 유지관리비용 및 시공면적 등을 중심으로 단순히 전문가의 경험과 직감에만 의존하여 이루어져 왔으며, 항만구조물의 열화성능에 대한 확률적 불확실성을 고려한 포괄적인 분석은 충분히 이루어지지 않은 실정이다.

이와 같은 불확실성을 고려한 설계 VE 분석방법에는 신뢰성 해석방법이 유용하게 사용되고 있는데, 이 신뢰성 해석방법으로도 항만구조물에 대한 모든 불확실성을 해석에 반영하기에는 어려움이 따르고 있다.

그 이유는 신뢰성 해석 방법으로 다룰 수 있는 불확실성의 범위가 매우 제한적이고, 항만구조물에 대한 정보들이 반드시 객관적이고 정량적인 통계자료가 주어지지 않는다는 데 있으며, 이는 분석결과에 대한 신뢰도를 감소시키는 원인이 되고 있다.

특히 항만구조물의 설계 VE 검토 시 설계데이터에는 객관적이고 정량적인 정보보다 주관적이고 정성적으로 다루어야 할 정보가 많을 뿐더러, 점검자의 경험에 의해서 주관적으로 표현되기가 쉽기 때문에 신뢰성의 문제를 발생시키고 있다.

이러한 문제점의 해결방안으로 주관적 정보의 애매성을 다루는 퍼지신뢰성 이론의 연구가 필요하다고 판단되며, 퍼지신뢰성을 통한 VE/LCC 분석은 발주처 및 사회적 요구사항과 현지여건을 고려한 공사비 절감을 유도하고, 구조물의 성능을 향상할 수 있는 다각적인 검토가 가능하도록 분석하는데 있다.

본 연구에서는 VE/LCC 분석의 실무 활용성과 분석결과에 대한 신뢰도를 향상시키기 위한 측면에서 실제 항만구조물을 대상사업에 적용한 정성적 분석인 열화성능평가와 정량적 분석인 LCC 평가 및 퍼지신뢰성 분석인 가치평가를 수행하였으며, 기존의 확정적 분석기법과 퍼지신뢰성 기법의 결과를 상호 비교 검토하고자 한다.

또한, 본 연구에서는 항만구조물에 대한 사업의 타당성 검토와 최적안 선정 그리고 유지관리 전략분석 및 가치평가와 LCC 분석의 효율적인 의사결정을 지원하기 위한 VE/LCC 분석 프로그램을 개발하고자 하며, 평가자의 주관이나 과거경험에 기초한 주관적 신뢰성 해석과 열화성능과 같은 확률적 불확실성을 고려한 객관적 신뢰성 해석을 동시에 반영할 수 있는 퍼지신뢰성 이론을 기초로 한 LCC 분석의 통합 가치분석 방법론을 구축하고자 한다.

1.2 연구동향

정부에서는 공공부문의 개혁차원에서 건설사업의 단계마다 내재된 비효율과 낭비요인을 제거하여 공공건설 사업비용을 절감하기 위한 목적으로 ‘공공건설사업 효율화 종합대책’을 1999년에 마련한 바 있다.

‘공공건설사업 효율화 종합대책’의 기본방향은 설계 및 공사비 등에 대한 경비절감뿐만 아니라 주요 국가시설물에 대한 경제적 내용년수까지의 총 생애주기비용을 절감하는 것을 목표로 하고 있다.

또한, 2005년도에는 ‘총공사비가 100억원 이상인 건설공사의 기본설계 및 실시설계를 함에 있어서는 설계 대상시설물의 주요기능별로 설계내용에 대한 대안별 경제성 및 현장적용의 타당성을 검토’하도록 건설기술관리법을 개정 한 바 있으며, 최근 정부에서 기 발주한 부산신항, 제주외항, 광양항, 울산항, 평택항 및 인천항 등의 설계시공 일괄입찰, 대안입찰, 민간투자사업 등을 비교·검토해보면 유지관리 계획 및 시설물 보수대책의 적정성, 공사비 및 유지관리비 적정성 그리고 경제성 및 환경성 등이 중요한 분야로 다루어지고 있다.

특히 2005년도에 국내에서 처음으로 시행한 BTL(Build-Transfer-Lease) 방식의 민간투자 시설사업에서도 유지관리운영권의 설정기간을 20년으로 한정함으로써 설계과정에서의 설계 VE 및 생애주기비용 분석과 같은 과학적인 의사결정으로 최적의 경제적인 설계가 더욱더 요구되고 있는 추세이다.

현재 선진국들은 과거에 겪은 경험을 바탕으로 시설물의 생애주기 동안의 특성을 중요하게 인식하고, 기획단계에서부터 건설시 초기공사비 뿐만 아니라 구조물 유지관리의 특성 및 수명 전체에 소요되는 비용의 예측 즉 LCC 측면을 중요하게 고려하고 있다. 우리나라도 이제는 시설물에 대한 건설, 운용, 유지관리 및 해체·폐기에 이르기까지 장기적인 안목으로 시설물을 설계·유지관리하여야 할 때가 되었으며, 이러한 움직임이 현재 우리나라 건설전반에 서서히 나타나고 있다.

일반적으로 LCC 분석은 계획과 설계, 시공 및 유지관리, 해체폐기 등 시설물의 생애주기동안의 발생가능한 모든 비용에 대한 예측을 의미한다. 그러나 예측에서 수많은 관련 변수들의 불확실성으로 인해 최적의 의사결정을 내리기가 쉽지 않다.

설계 VE는 건설공사에서 설계 및 시공의 운영체계를 종합 분석하고 개선하여 공사비 절감과 품질향상을 도모하기 위한 기법으로 그간의 인식부족으로 설계 VE 검토가 제대로 이루어지지 않는 등 활성화되지 못한 점이 있었다.

이에 따라 기획예산처와 한국개발연구원에서는 기획단계의 VE 제도 도입에 대한 연구를 지속적으로 추진하고 있으나 아직까지 VE/LCC 분석기법을 실무에서 적용할 수 있는 과학적이고 합리적인 충분한 준비가 되어 있지 않은 실정이다. 항만구조물의 설계 및 건설공사에서도 마찬가지로 합리적인 투자의 의사결정과 설계대안의 선택을 위한 VE/LCC 분석방법의 체계가 초보적인 단계로서 확정론적 기법에 의한 방법이 주를 이루고 있는 실정이기 때문에 항만구조물의 건설 및 유지관리 단계에서의 최적화를 고려한 객관적이고 합리적인 확률론적 기법의 연구 및 개발이 반드시 필요한 실정이다.

미국의 연구동향은 1947년도에 General Electronic 회사의 구매를 담당하던 로렌스 D 마일즈가 ‘제품의 가치를 향상시킬 수 있는 가장 효과적인 방법을 발견한다’는 목적으로 제품의 기능과 비용의 분석에 근거하는 비용절감수법을 연구 개발하여 VA를 창안하였다.

1954년도에는 해군조선국이 설계단계에서 비용·성능의 개선을 위해 VA를 사용하고 그 방법을 새롭게 VE라고 개칭하였고, 1959년도에 VE협회가 설립되었다.

미연방도로국에서는 LCC 정책방안의 마련 및 관련지침에 관한 연구를 꾸준히 진행해 왔으며, 1998년도에 Wall III와 Smith는 LCC에 기초한 포장설계에 관한 연구보고서를 출판한 바 있다. 이 중간보고서는 기존의 확정론적 방법 보다는 미래의 비용 및 유지관리 시기 등에 대한 것을 확률변수로 취급하는 확률론적 접근방법의 사용을 추천하고 있다. 미연방도로국의 포장설계를 위한 확률론적 접근방법은 1단계에서 문제의 논리와 구조를 설정하고, 2단계에서는 불확실 변량의 확률모형화를 정립하며, 3단계에서는 시뮬레이션을 구성하고, 4단계에서는 결과를 분석하며, 마지막으로 5단계에서는 의사결정을 수행한다. 비록 이러한 절차가 포장설계에 맞춰져 개발되었지만, 항만구조물의 설계에서도 그 기본적인 접근방법은 그대로 활용이 가능하리라 생각된다.

미국립과학기술협회에서는 1999년도에 Ehlen이 LCCA를 위한 프로그램 Bridge LCC 1.0을 개발하였으며, 1996년에 Ehlen과 Marshall이 신기술 적용을 고려한 LCC 분석모델 개발에 관한 연구를 수행하였다. 또한 LCC의 평가시 수명예측이 중요하기 때문에 콘크리트 구조물의 잔존수명 예측모델에 대한 연구를 수행하였으며, 이러한 공

용수명 예측 알고리즘을 포함시켜 Bridge LCC 2.0 프로그램을 개발하였다.

1998년도에 Hawk는 교량의 LCC 분석절차 및 방법과 LCC 분석을 위한 소프트웨어 개발 프로젝트를 수행하였다. 이 연구에서 Hawk는 관리주체비용과 사용자비용 그리고 지진하중과 같은 천재지변에 대한 위험도를 LCC의 구성비용 항목으로 고려하고 있고, Monte Carlo 시뮬레이션 기법을 이용하여 비용의 불확실성과 보수시기 등을 고려할 수 있도록 개발하고 있다.

Frangopol 등은 1997년에 노후구조물의 LCC 분석의 신뢰성 접근방법을 교량에 응용할 수 있음을 보여 주었으며, 시간이 흐름에 따라 열화하는 구조물에 대한 점검·보수 계획을 수립하기 위한 구조 수명 간 LCC의 최적화 모델을 제시하였다.

1999년도에 Enright과 Frangopol은 노후 콘크리트 교량에 대한 LCC 해석기법을 제안하였고 이로부터 콘크리트 교량의 최적 유지관리전략의 수립에 도움을 줄 수 있는 합리적인 모델을 개발한 바 있으며, 노후 콘크리트의 신뢰성 해석은 구조수명간 신뢰성 해석기법을 적용하였다.

2001년도에 Frangopol 등은 신뢰성에 기초한 도로교량의 LCM을 통하여 신뢰성과 LCC를 균형 있게 유지하는 LCC 신뢰성 최적화기법을 제안하였다. 모델은 기존의 경험적인 Pontis나 Bridgit 등의 교량관리시스템의 한계를 극복할 수 있는 방법에 대한 개념적인 모델을 제시하고 있다.

또한 2001년도에 Estes과 Frangopol은 노후 교량에 대한 다중한계상태를 고려한 LCC를 최소화하여 기존 교량을 최적으로 유지관리할 수 있는 신뢰성 접근방법을 제안하였다. 다중한계상태에서는 사용성 한계상태와 극한강도의 한계상태를 고려하였다.

그러나 아직까지 이러한 Frangopol의 연구조차도 아주 단순화된 구조물의 모델에 대하여 개발되고 있고, 실제 항만구조물처럼 매우 복잡하여 보수·보강에 대한 구조신뢰도, 노후상태, 잔존수명 등의 변화를 정량적으로 다룰 수 있는 방법에 대한 것은 초보적인 연구단계에 있다. 특히 국외의 연구는 국내의 건설기술과 사회적 환경을 충분히 반영하지 못하기 때문에 우리 실정에 맞는 LCC 분석모델의 개발이 필요하다.

일본의 연구동향은 1955년도에 일본생산성본부가 미국에 파견한 '원가절감 시찰단'이 시찰결과 원가절감의 유력한 수법으로서 VE의 필요성을 인식하여 귀국 후 본격적으로 일본에 보급시키려고 하였다.

1997년도에 건설성 토목연구소에서는 LCC 개념을 도입하여 200년간 수명의 교량에

대한 경제성 검토를 수행한 바 있으며, 교량은 기존 교량에 비해서 상판과 도장 등에 신재료 및 신기술을 도입함으로써 부재별 내구년한이 기존 교량보다 최소 1.5배에서 최대 8배 정도로 크다고 보았을 때 LCC 분석을 수행한 결과, 초기건설비는 기존교량에 비해 60% 정도 더 많이 소요되지만 25년 정도부터는 경제성이 있는 것으로 조사된 연구결과를 발표하였다.

외국의 연구사례에서와 같이 VE/LCC 기법을 적용하여 장기적인 측면에서 유지관리 비용의 혁신적 절감을 이룩하고 있으므로 국내에서도 도로와 교량 및 항만 등의 구조물의 신설 및 유지관리시 이러한 VE/LCC 개념을 적용하여야 할 것으로 판단된다. 특히 항만구조물은 공용수명이 비교적 긴 시설물로서 예측하고 있는 기존 항만분야의 수요예측 데이터로 항만의 LCC 분석을 하기에는 많은 어려움이 있다. 60년 후의 항만수요 예측을 한다는 것은 불확실성이 매우 크므로 이 역시 확률적 방법의 검토가 불가피할 것으로 생각된다.

우리나라의 VE 기법은 80년대 초에 계속된 불황 속에서 기업이 새로운 돌파구를 찾기 위한 노력의 일환으로 처음 적용하였고, 1982년도와 1983년도에는 한국공업표준협회와 한국능률협회가 VE 기법의 교육, 연수, 세미나 등을 실시한 바가 있으며, 1984년도에 최초로 VE 기법을 도입한 S종합건설은 자체공사 위주로 VE를 꾸준히 실시하여 정착화에 노력하고 있으며, 다른 건설업체도 점차 VE 기법이 확산되고 있는 추세이다.

VE/LCC에 관한 연구로서 1999년도에 한국건설기술연구원의 교량관리체계(BMS) 개선에 관한 연구에서 LCC 도입에 대한 필요성이 제시되어 기초연구가 수행되었고, 2001년도에는 한국도로공사의 도로연구소에서 ‘도로 건설 및 유지관리사업의 경제성 분석기법 개발(I)에 대한 연구’에서 LCC 기법을 소개하였다.

2000년도에 지상옥은 IMF 이후 VE를 건설 산업에서 예산절감의 효율적 도구로 이용이 가능하다고 보고 미국의 경우와 건교부 산하 각 기관의 VE자료를 살펴보고 국내에서 효율적으로 적용하기 위한 방안을 연구하였다.

중앙대학교 건설산업기술연구소의 김용수 교수 연구팀에서는 2001년도에 “LCC 기법을 이용한 교량 형태별 경제성 분석 및 경제적 수명예측에 관한 연구”를 통하여 PSC 빔교, 강 박스 거더교, PSC 박스 거더교 등 전형적인 교량에 대한 LCC 예측기법을 연구한 바 있다.

2002년도에 한국시설안전기술공단은 “교량의 LCC 분석모델 및 DB 구축방안 연구”를 수행한 바 있고, 2002년 12월에 한국도로공사는 “고속도로 교량의 구성요소별 LCC 분석 연구”를 발표한 바 있다.

김철용·정영일 등은 2002년도에 외주에 의한 설계 VE 실시에 따른 용역대가의 산정방법에 대해 연구하였으며, 같은 해 이지용 등은 국내 건설시장에서 건설 VE 프로세스의 단계 및 기법에서 제기될 수 있는 문제점과 원인을 분석하고 개선방향을 체계적으로 제시하기도 하였다.

한국수자원공사는 2003년도에 “수도건설사업의 원가절감을 위한 LCC 분석 연구”를 통하여 기존의 유지관리에산의 부적절성을 지적하고 전반적인 수도시설의 생애주기비용 분석을 위한 광범위한 데이터를 제시하였다.

VE를 실무에 적용하기 위한 연구로는 2003년도에 김창학과 이철규 등이 항만구조물의 VE/LCC 사례에 대한 연구를 통해 최적의 대안 도출을 모색해 보았으며, 2003년도에는 최형래 등은 이를 실제 항만공사 사례에 적용해 보기도 하였다.

2004년 정평기와 임종권 등은 확률적 LCC 분석기법을 활용한 수도시설물의 설계 VA 모델에 관한 연구를 제시하였다. 이처럼 최근 각 정부기관과 연구기관, 학계, 건설업계로부터 VE/LCC 관련 연구의 중요도가 높아지고 관심도 고조되고 있다.

2005년도에 안종필과 이증빈 등은 시설물 자산관리 시스템을 통한 유지관리 선진화를 위한 방안의 기초적 연구로 시간 의존적 설계 VE 및 LCC 분석모델을 개발하였다.

이 연구는 퍼지기법을 활용한 VE 평가모델과 신뢰성 해석에 의한 생애주기 프로파일을 구성하여 시간 의존적 가치지수함수로 대안별 VE/LCC 분석을 입증하였고, 유지관리단계까지의 경제성 분석에 필요한 잔여수명 추정 및 유지관리 조치시기 등 자산가치의 제반사항을 제시하고 있다.

2005년에 안국과 김경모 등은 하수관거의 예방적 유지관리 체계에 관한 연구를 제시하였고, 점검 및 조사, 현재상태의 평가, 미래상태 예측, 대안에 대한 LCC 분석 및 보수·보강, 모니터링과 같은 처리순서를 중점으로 연구하였다.

1.3 연구방법

전술한 연구의 동향에서 살펴본 바와 같이 최근 들어 방파제와 안벽 및 호안 등과 같은 대형 항만구조물의 설계와 건설의 효율적 시행을 위해 계획 및 설계단계에서부터 VE/LCC 분석을 적용하도록 제도적인 규제로 권장하고 있다.

VE/LCC 분석의 중요성이 대두됨에 따라 사회기반시설물의 설계에 VE/LCC 분석을 위한 이론적 모델과 표준지침 및 소프트웨어 등의 개발이 활발하게 이루어지고 있으나, 현재 설계 VE/LCC 분석에서 설계실무를 담당하는 설계전문가들조차도 열화성능을 고려하지 않고 설계 VE 업무를 수행하고 있으며, 설계로 인하여 대상구조물이 어느 정도의 열화를 지니게 되는지에 대한 인식이 부족한 실정이다.

본 연구에서 기본적으로 실시한 VE/LCC 분석은 먼저 국내외의 VE/LCC 관련 문헌 조사 및 자료의 수집, 분석 그리고 광범위한 분야의 기술에 관하여 조사하고 실제로 설계 및 시공에 적용한 부산항, 제주항, 광양항, 평택항, 울산항 등을 중심으로 VE/LCC 현황을 전체적으로 파악하였다.

또한 프로젝트의 계획부터 설계, 시공, 유지관리, 해체 및 폐기처리에 이르기까지의 전체 과정을 프로젝트의 생애주기로 보고, 전체 공용년수 동안에 발생하는 총비용을 산출하여 경제성을 평가하는 방식으로 진행하였다.

VE 절차는 사전준비단계에서는 대안별을 도출하고, 분석단계 및 실행단계에서는 분석하여 최종안을 선정하는 절차로 수행하였으며, LCC 절차는 도입단계에서는 전문가에 의한 평가기준항목을 선정한 후 AHP 기법에 의한 가중치를 산정하여 일관성 정도를 파악하고 대안들 사이의 중요도를 계산하였다,

분석단계에서는 등급점수, 기능점수, 열화성능점수의 확정론적인 방법과 퍼지론적 방법으로 분석하여 비교 분석하였으며, 평가단계에서는 각 대안별 장단점을 분석하여 유지관리전략 및 통합관리 분석을 산정한 후 최적대안을 선정할 수 있도록 하였다.

또한 본 연구에서 VE/LCC 분석을 위한 정성적 및 정량적 그리고 퍼지신뢰성에 의한 유지관리전략 및 통합 가치분석을 통해서 효율적인 의사결정을 통한 최적안을 선정할 수 있도록 프로그램을 개발하였다.

특히 실무 활용성과 분석결과의 신뢰도를 향상시키기 위한 측면에서 LCC 분석을 위한 입력변수의 불확실성과 변동성을 고려하지 않는 기존의 확정론적 분석기법과 퍼지

신뢰성 이론에 의한 생애주기비용 분석모델과의 상관관계를 규명하고, 결과의 상호 비교를 통해 타당성을 검토하고자 한다.

본 연구의 적용대상 구조물의 범위는 항만구조물 중 외곽시설인 방파제와 계류시설인 안벽 그리고 호안으로 한정하였으며, 그림 1.1은 본 연구의 절차 및 범위를 보여주고 있다.

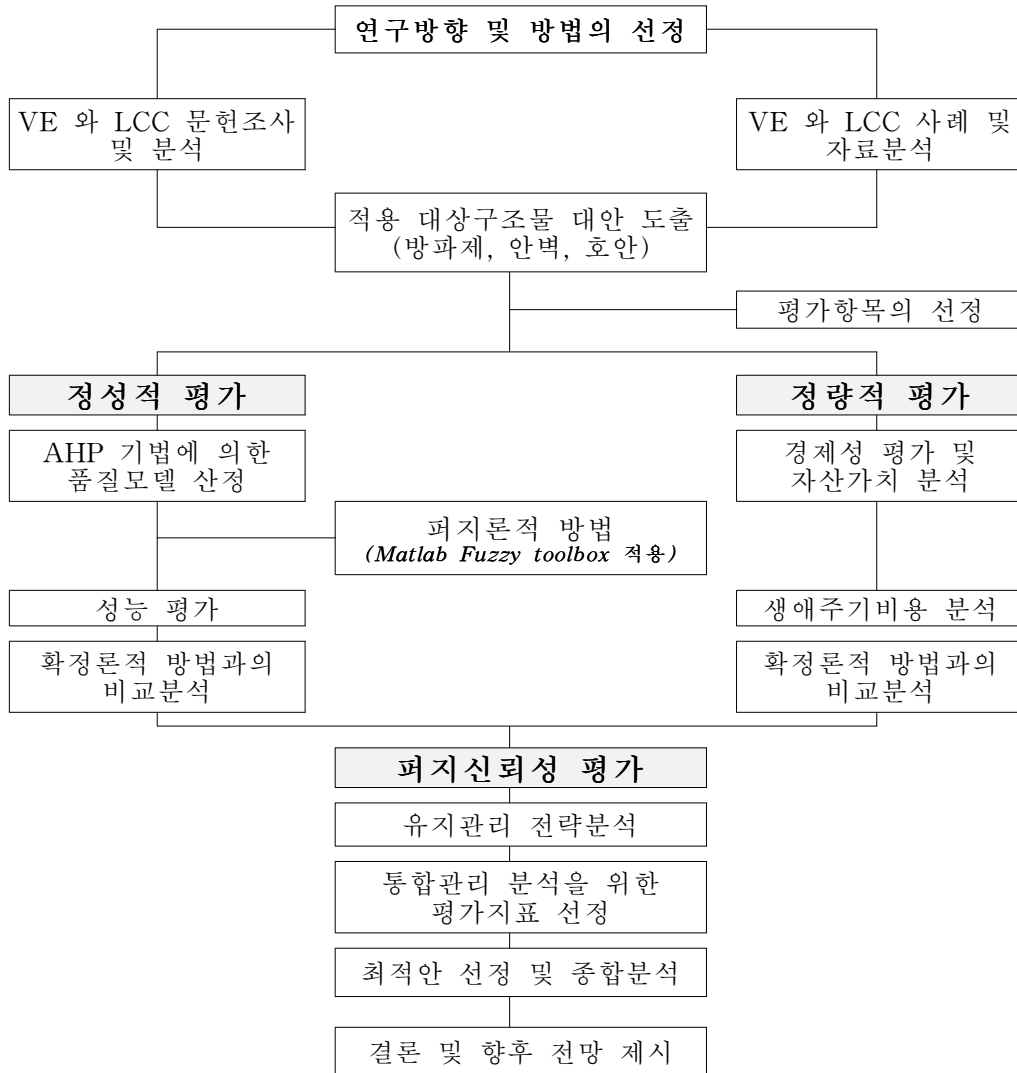


그림 1.1 연구의 절차 및 범위

제2장 VE/LCC 분석이론

2.1 VE분석기법

2.1.1 VE의 개념 및 목적

가치공학(VE)은 가치분석(VA) 또는 가치관리(VM) 등과 같이 몇 가지 다른 명칭으로 불리고 있다. VE란 용어는 전통적으로 건설산업 및 산업설계 분야에 적용되었을 때 사용하였으며, VA란 용어는 기본계획이나 프로세스 분야를 위해, VM이란 용어는 행정 또는 관리분야의 적용을 위해 사용되어 왔다(임 2006).

미 국방성에서는 VE를 “최저의 총비용으로 필요한 기능을 확실히 달성하기 위하여 제품이나 서비스에 대한 기능분석과 개선에 쏟는 조직적인 노력”으로 정의하고 있고, 건설사업에서의 VE는 “최저의 생애주기비용으로 최상의 가치를 얻기 위한 목적으로 수행되는 건설사업의 대안창출의 노력으로, 여러 전문분야의 협력을 통하여 수행되는 체계적인 프로세스”로 정의하고 있으며, 일반적으로 건설 VE는 설계단계의 VE와 시공단계의 VE를 총칭하고 있다.

설계단계에서의 VE는 사업의 계획, 기본설계 및 실시설계 단계에서 VE팀을 구성하여 발주자와 사용자의 요구기능을 만족시키고 LCC의 절감을 목적으로 원래의 계획이나 설계를 재검토하여 대안을 작성하는 것을 원칙으로 하며, 이론과 경험을 토대로 확립된 기법을 체계적으로 사용하여 사업의 요구기능과 비용의 관점에서 분석하여 가치향상이 될 수 있는 방안에 대해 구체적으로 검토하고 정리한 후 VE 제안(VEP)하여 실제설계에 반영하고자 하는 데 그 목적이 있다.

시공단계에서의 VE는 시공자가 VE팀을 구성하여 설계내용을 재검토하고, 공사비를 절감할 수 있는 대안을 작성하여 발주자에게 제안하는 것으로서 발주자는 그 제안을 심사하여 변경에 의해 당초의 설계에서 요구된 사업의 기능을 손상시키지 않고 공사비의 절감이 가능한지를 확인한 후 정식으로 설계를 변경하게 되며, 시공단계에서의 VE에서 시공사가 설계변경을 제안한 대안을 VE 변경안(VECP)이라고 한다.

그림 2.1은 건설사업에서 가치저감요인에 따른 VE의 필요성을 보여 주고 있고, 그림 2.2는 VE가 필요한 건설사업의 유형을 나타내고 있다. 건설사업에서의 VE는 먼저 시설물이 가지고 있는 기능을 구체적으로 정의하여 분석하고 다음으로 필수기능인 주기능과 2차기능인 법적 및 제도적 필요기능 그리고 사용자가 필요로 하는 기능은 유지하면서 불필요한 기능을 제거하고 창조적 아이디어를 발상하여 가치지향적인 대안을 제시하는데 그 목적이 있다.

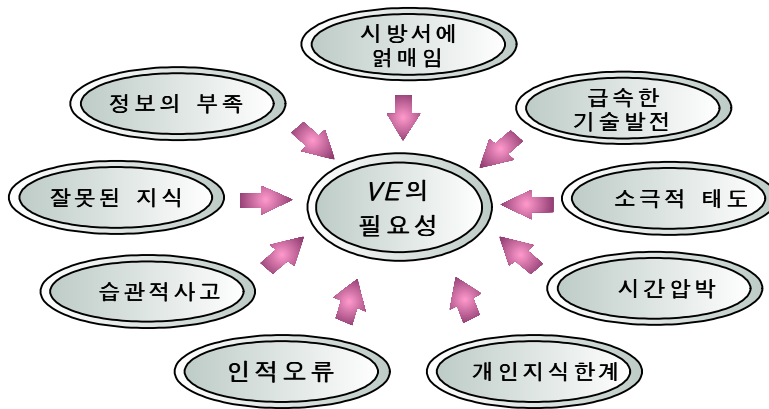


그림 2.1 가치저감요인에 따른 VE의 필요성

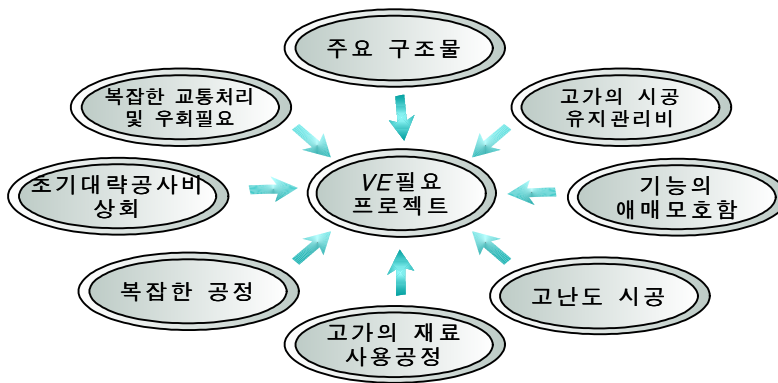


그림 2.2 VE가 필요한 건설사업의 유형

그림 2.3은 건설 VE에 따른 사업의 진행과 비용결정의 상관도표로서, 건설사업에서 종래의 VE는 주로 시공단계에서 이루어져 왔으나 생애주기비용은 설계단계에서 80% 이상 결정되므로 VE는 설계단계에서 실시하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

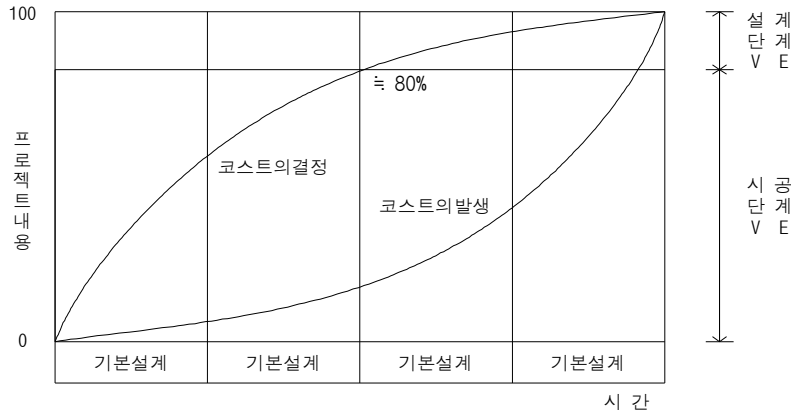


그림 2.3 VE에 따른 사업의 진행과 비용결정의 상관도표

그림 2.4는 건설VE의 실시시기에 따른 효과분석의 결과로서, 사업의 생애주기가 경과하면 할수록 VE제안을 실행하는데 소요되는 비용이 증가된다는 것을 보여주고 있다.

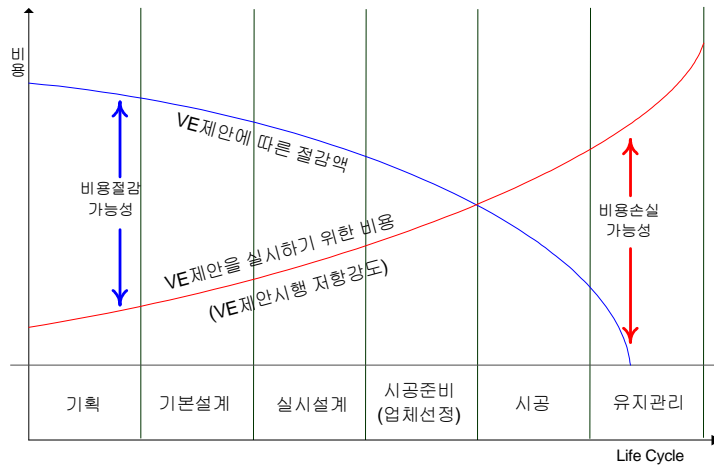


그림 2.4 VE의 실시시기와 효과

2.1.2 가치의 개념과 VE의 절차

건설 VE에서 가치의 척도는 사용자에게 제공되는 세 가지의 기본요소인 범위와 일정 및 비용으로 구성되며, 위의 세 가지 요소들의 관계를 극대화시키는 것이 고객을 만족시키고 “최고의 가치”에 도달하기 위해 중요하다.

그림 2.5와 같이 사업의 범위나 일정을 개선하거나 비용을 절감시킴으로서 가치를 크게 향상시킬 수 있다.

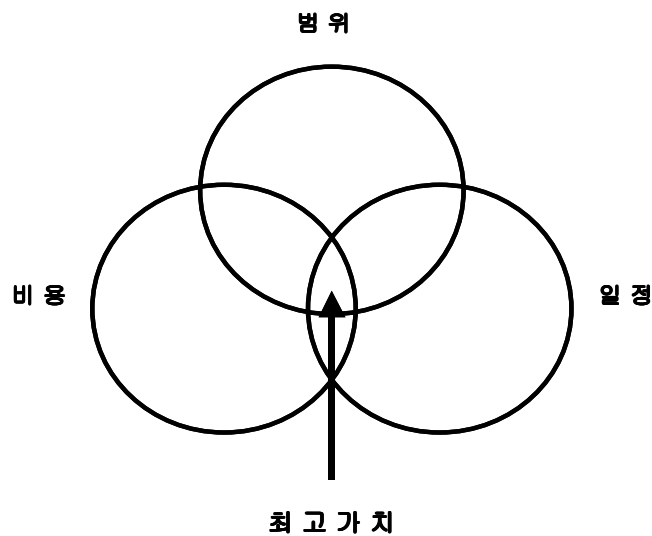


그림 2.5 건설 VE에서 가치의 척도

성능을 범위와 일정의 합으로 고려하면 기본적으로 어떤 기능에 대한 가치는 성능을 비용으로 나누어 산정할 수 있으며, 표 2.1은 성능과 비용 및 가치의 관계를 나타내고 있다. 이러한 관계로부터 다음과 같은 진보된 가치를 정의할 수 있는데 즉, 가치란 기능의 성능과 그것을 얻기 위한 비용 사이의 상관관계에 대한 정성적 혹은 정량적 표현으로서 “최고의 가치”라는 말은 고객이 기대하는 성능수준을 만족하는 기능을 확실하게 달성할 수 있는 비용 효율적 수단을 의미한다(임 2006).

표 2.1 성과와 비용 및 가치의 관계

가치척도	성능	비용	가치
$V = \frac{P}{C}$ V : 가치 P : 성능 C : 비용	<ul style="list-style-type: none"> 프로젝트 대상의 성능분석을 통한 대안도출 일반적인 원가절감 사고방식에서 벗어나 성능 중심의 사고 중시 	<ul style="list-style-type: none"> 프로젝트의 투자비용을 초기투자비용뿐만 아니라 시설물 생애주기 동안의 총비용을 감안하여야 함. 	<ul style="list-style-type: none"> 프로젝트의 필요한 성능에 대한 비용의 상대적 비율로서 가치지수를 높이는 것이 바람직한 설계방향임

그림 2.6과 같이 가치향상의 유형은 네 가지로 열거할 수 있다(박 2004).

먼저 가치혁신형에서 생애주기비용을 최소화하고 성능을 최대화하는 방향으로의 VE가 가장 큰 가치향상을 기대할 수 있으며, VE의 최우선 목표로 삼는다. 그러나 이러한 대안이 항상 존재하는 것은 아니고 비용은 다소 증가하더라도 기본적인 성능 외에 사용자의 편의성이나 요구사항 등의 2차 성능을 보완하는 대안의 검토가 가능하며 이러한 경우 성능강조형으로 정의한다. 또한 성능은 그대로 두고 비용을 최소화하는 쪽으로 설계를 시행할 때 비용절감형으로 정의할 수 있고, 비용을 그대로 유지시키고 기능을 향상시키는 것을 성능향상형으로 정의할 수 있다(박 2004).

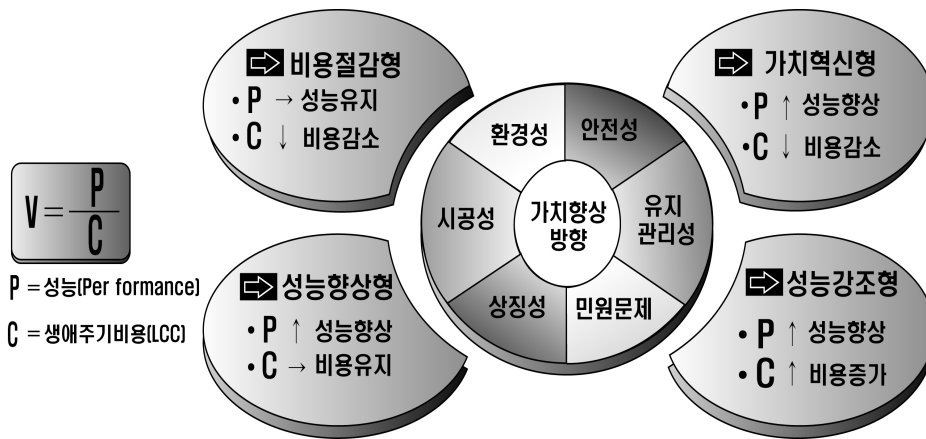


그림 2.6 건설 VE에서 가치향상의 유형

2000년 정부에서는 ‘건설 VE 운영기법’에서 설계 VE 기법을 개발한 바 있는데 설계 VE의 절차는 1999년 미국 Caltrans의 ‘Value Analysis Report Guide’의 방법을 준용하고 있다. 미국에서는 오랜 연구와 경험을 통하여 VE 검토를 위한 수행절차와 이에 따른 세부작업의 내용에 대한 지침이 확립되어 있으며, 그림 2.7은 Caltrans에 의해 개발된 VE 활동의 흐름도이다.

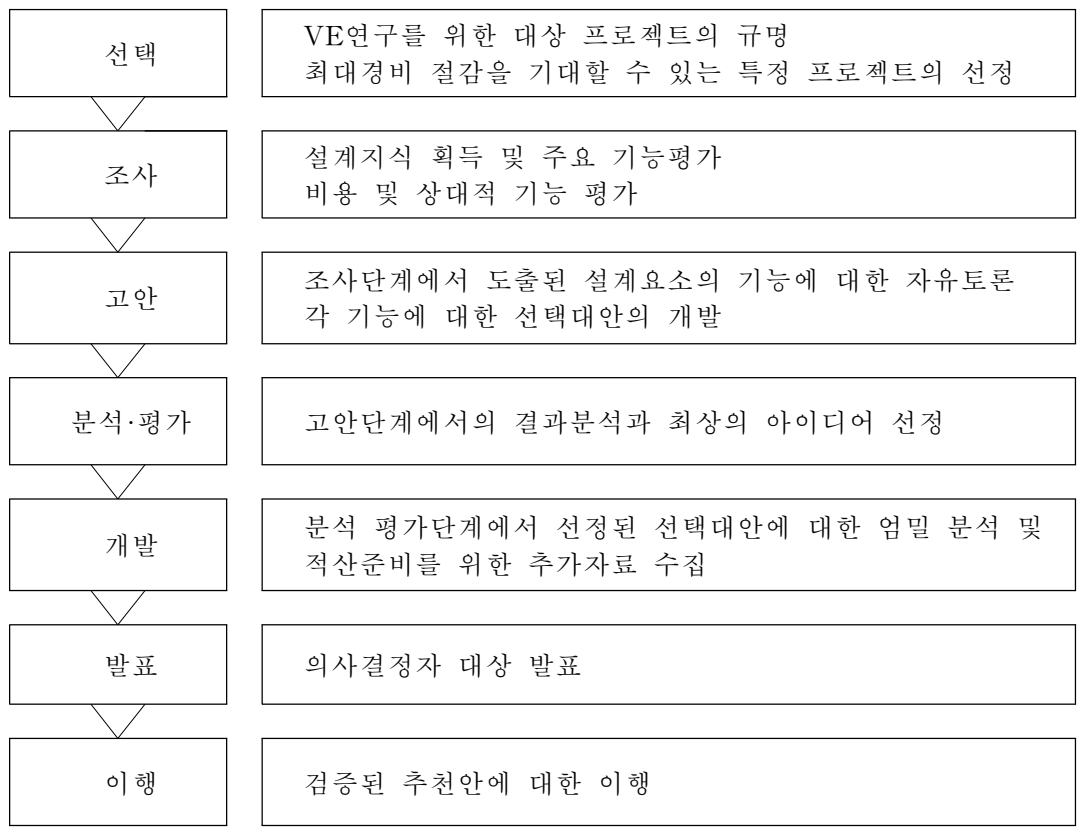


그림 2.7 Caltrans의 VE 수행절차

2.1.3 VE의 수행 프로세스 및 기법

일반적으로 VE의 수행 프로세스는 그림 2.8과 같이 준비와 분석 및 실행의 세 단계로 크게 나눌 수 있으며, 대개의 설계 VE는 세 단계의 절차에 따라 VE팀이 정한 주요사안에 대한 단계, 목적, 주요사항, 기법 및 내용 등의 체크리스트의 활용을 통하여 진행하는 것이 보통이다. 그러나 국내에서는 발주제도와 인력과 자원 및 시간 등의 제약 요건상 VE의 수행절차에 따라 충분히 수행하지 못하는 사례가 많은 것으로 파악된다.



그림 2.8 건설 VE의 수행 프로세스

미 연방도로국에서는 발생 가능한 여러 문제점들의 원만한 해결을 위해 연구 및 제안단계에서 팀과 함께 VE를 주관하는 발주자 혹은 기타 의사결정기관 등의 참여가 이루어지는 검토회의를 자주 가져야 한다는 것을 강조한다. 여기서 여러 문제들의 원인과 적절한 조치내용에 대해서는 FHWA가 발표한 내용을 정리하여 표 2.2에 나타내었다. 표 2.2의 내용을 참조하여 효과적인 VE 검토회의의 진행이 될 수 있는 상황에서 VE의 성과가 극대화될 수 있을 것으로 예측된다.

표 2.2 FHWA의 VE 검토회의의 제반검토사항

원 인	조 치 내 용
개인정보의 부족	팀 구성간의 피드백에 의한 당초계획의 요구조건들에 대한 검토
잘못된 인식과 착오	계산, 물성, 공법에 대한 검토
습관적 생각	과거의 답습방지와 현재의 경향에 대한 검토
개인에 의해 발생하는 오류나 위험	팀에 의한 리스크의 재검토
외부자문을 받지 않으려는 경향	팀에 의한 검토
시간의 촉박함	팀에 의한 빠른 의사결정
부정적 견해	일부의 의견을 전체의 의견으로 통합 및 조율
빠른 기술적 진보	팀 혹은 자문에 의한 최근기술 및 공법 수렴
필요조건에 대한 고정적 견해	팀에 의한 전반적 재검토
부족한 의사소통	전체회의 및 외부자문 등을 통한 검토

VE 기법은 일정수준의 능력을 가진 구성원으로 이루어진 팀이 정한 전체적인 프로세스를 따라가는 것으로 프로젝트의 특성과 주변상황들에 따라 적절히 변경되어 적용될 수 있는 것이기에 전체적으로 정형화된 특별한 기법 등이 있는 것은 아니지만 세부적으로 기능분석 방법, 아이디어의 도출과 평가, 비용결정방법 등의 단계에서 여러 가지 요소기법들이 쓰이고 있다.

국내에서는 기능분석방법으로는 기능정의 쉬트, Mis-Match법, 기능계통도(FHM) 등의 기법이 많이 이용되고 있으며 향후에는 국외에서 많이 이용되고 있는 FAST 다이어그램의 이용이 증가할 것으로 기대되고 있다. VE 수행과 관련된 아이디어 도출기법으로는 브레인스토링, 브레인라이팅, 체크리스트법, 연상법, Triz 방법론 등의 기법들이 쓰이고 있고, VE의 의사결정기법으로는 Matrix 평가법, AHP 기법 등이 사용되고 있다. 또한 VE의 평가기법으로는 Index Matrix법이 있고, 비용결정방법으로는 Cost Modeling 기법, LCC 분석 등이 많이 사용되고 있다.

2.1.4 VE의 의사결정기법

현재까지 VE의 의사결정기법으로 널리 쓰이는 방법은 미국 피츠버그대학교 Tomas Saaty에 의해 개발된 AHP 기법으로, 다수의 목적을 포함하는 의사결정시 사용하는 유용한 기법의 하나이며, 여러 가지 항목을 평가하여 최적의 대안을 선정하는 방법으로, 최적의 대안을 선정하기 위해서 고유벡터 방법으로 쌍대비교를 통해 가중치를 선정한 후 최하위의 계급에서 대안으로 적용하여 결정한다. 이 방법의 장점은 고유벡터 방법의 장점을 모두 살릴 수 있고, 복잡한 문제를 계층화함으로써 판단을 원활히 할 수 있도록 한다.

일반적으로 AHP 기법을 통한 최적안 선정과정은 그림 2.9와 같이 4단계로 이루어지며, 단계 1은 의사결정 문제의 의사결정요소들인 최종목표와 평가기준 그리고 대체안들 사이의 관계를 계층구조화 하는 단계이고, 단계 2는 각 계층내의 의사결정 요소들의 쌍대비교를 통하여 계층별로 쌍대비교 행렬을 구하는 단계이며, 단계 3은 쌍대비교 행렬로부터 각 계층내의 의사결정요소의 상대적 중요도를 평가하여 가중치를 구하는 단계이고, 단계 4는 각 계층별로 얻어진 요소들의 중요도를 결합하여 대안들 사이의 중요도를 계산하여 대안들의 총 중요도를 계산함으로써 최적의 대안을 선정하는 단계이다.

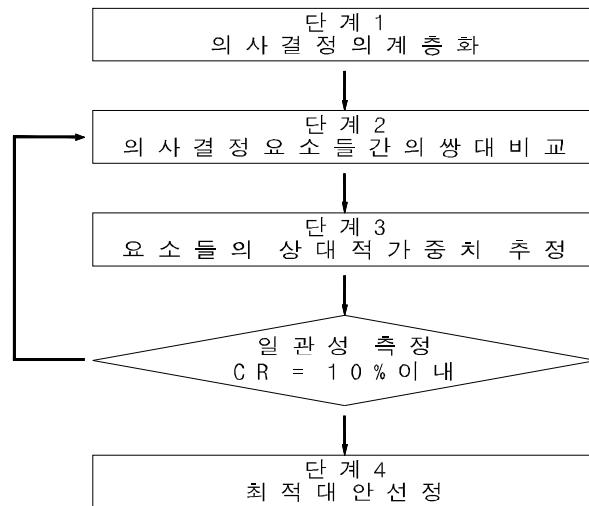


그림 2.9 AHP 기법을 통한 최적안 선정과정

AHP 기법에 적용한 가중치 선정을 위하여 Saaty는 표 2.3과 같이 중요도의 배점을 경험이나 판단에 의한 선호도에 따라 제안하였다.

표 2.3 Saaty의 가중치 선정을 위한 배점의 판단기준

중요도	정 의	내 용
1	동 등	어떤 기준에 대하여 두 활동이 비슷한 공헌도를 가진다고 판단됨.
3	약간중요	경험이나 판단에 의하여 다른 활동보다 약간 선호됨.
5	중 요	경험이나 판단에 의하여 다른 활동보다 확실하게 선호됨.
7	매우중요	경험이나 판단에 의하여 다른 활동보다 강하게 선호됨.
9	절대중요	경험이나 판단에 의하여 다른 활동보다 절대적으로 선호됨.
2.4.6.8	중간 값	경험이나 판단에 의한 비교 값이 상위 값의 중간에 해당한다고 판단될 경우에 사용함

AHP 기법에 의한 의사결정 과정은 첫째로 계층도 작성으로서 AHP 기법을 사용하여 문제를 해결하려면 우선 문제의 요소를 최종목표와 평가항목, 그리고 세부항목 및 대안의 관계를 취하여 계층구조를 만들어야 한다. 계층화 시에는 맨 위에 최종위치를 지정하고, 그 밑에 대안을 평가하기 위한 평가항목과 그 세부항목을 나열한 다음 최종목표와 연결하고 마지막으로 대안을 나열하여 각 평가항목 및 세부항목과 연결한다.

둘째로 평가항목과 쌍대비교 행렬은 계층화를 이루고 있는 각 단계요소들의 쌍대비교 행렬을 작성한다. 이 단계는 각각의 계층단계를 구성하고 있는 모든 요소들에 대하여 쌍대비교를 실시하며, 한 단계에서 n개의 대안 또는 평가항목이 존재한다고 할 때, 먼저 이 단계에서는 $n \times n$ 의 쌍대비교 행렬(A)을 구성한다. 이 행렬에서 행 i와 열 j의 숫자는 i가 j보다 얼마나 중요한가에 대한 정도를 표시한다. 여기서 중요도는 정수 1에서 9까지의 범위에서 결정되는데 각 숫자의 의미는 표 2.3과 같다. 여기서 요소 j와 비교한 요소 i는 a_{ji} 로 표시되며 행렬에서 각 행 i에 해당하는 숫자는 1이다.

왜냐하면 자기 자신을 비교하기 때문에 1은 당연한 결과이다. 하지만 예를 들어, $a_{13} = 3$ 이라면 대안 1은 대안 3보다 약간 중요함을 의미하며, 일관성을 위해서는 a_{31} 의 값은 1/3로 나타내야 한다. n개의 요소가 있다면 $n(n-1)/2$ 회의 쌍대비교가 이루어지고, 행렬 A가 만들어 진다.

셋째로 AHP 분석에서 평가항목에 대한 쌍대비교가 끝난 후 상대적 가중치의 산정을 실시하는 단계로서 각 행렬에 해당하는 쌍대비교를 상대적 가중치로 변환하는 일이다. 쌍대비교 행렬 A의 작성 시 a_{ij} 는 비교하는 평가항목과 구하려는 평가항목과의 비로써 식(2.1)과 같이 판단된다.

$$a_{ij} = W_i / W_j \quad (2.1)$$

여기서, a_{ij} 는 i 번째 평가항목과 j 번째 평가항목과의 비교 값을 나타내며 W_i 는 구하려는 평가항목이며, W_j 는 비교하는 평가항목을 나타낸다. 행렬 A의 요소 a_{ij} 를 W_i / W_j 로써 치환하고 n개 요소의 가중치 $W = (W_1 \ W_2 \ W_3 \ \dots \ W_n)$ 를 오른쪽에서 곱하면 식(2.2)와 같이 표현할 수 있다.

$$(A - nI) = 0 \quad (2.2)$$

이때의 n은 선형대수에서의 고유치 λ 로서 특성방정식 $D(\lambda) = \det(A - \lambda I) = 0$ 의 근이며, W는 고유치 λ 에 대한 행렬 A의 고유벡터이다. 일반적으로 쌍대비교 행렬 A의 대각선 요소의 합은 n이므로, 0이 아닌 유일한 λ 를 최대고유치 λ_{\max} 라 하면, λ_{\max} 는 n이 되며, λ_j 는 0이 된다.

쌍대비교 행렬 A와 $\sum W = 1$ 로부터 최대고유치 λ_{\max} 와 그에 따른 고유벡터 W를 구하게 되는데 여기서 구한 고유벡터가 가중치가 된다. 평가항목에 대한 상대적 가중치를 산출한 후에는 각각의 평가항목에 대하여 제시된 대안의 상대적 가중치를 산출한다. 이렇게 산출된 두 결과를 합성하여 식(2.3)에 의해 성능척도를 계산하며, 가장 큰 값을 갖는 대안을 최적안으로 선정한다.

$$R = \sum_{i=1}^n W_i Z_i(x) \quad (2.3)$$

여기서, R 은 대안의 종합성능이며, W_i 는 n 가지의 평가항목의 상대적 가중치이고, $Z_i(x)$ 는 각 평가항목에 따른 대안의 상대적 가중치를 나타낸다.

넷째로 일관성 측정은 Saaty는 행렬 A 에 최대고유치와 쌍대비교 요소의 개수의 합수로 일관성 판단을 위하여 식(2.4)와 같이 나타내었다.

$$C.R = C.I / R.I \quad (2.4)$$

여기서, $C.R$ 는 일관성비율이고 $C.I$ 는 일관성지수를 나타내며 $R.I$ 는 무작위지수로서 $(\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$ 를 의미한다.

AHP 기법과 함께 VE의 의사결정기법으로 널리 쓰이는 방법으로 Matrix 분석기법이 있으며, Matrix 분석기법의 기본개념은 각 대안에 대해 대안이 실행되었을 때 영향을 받을 평가항목을 결정하고 영향도에 대한 점수를 부여하는 것으로서, 점수의 범위는 가장 빈약한 것은 1점에서 가장 좋은 영향을 주는 대안에 5점을 준다. 각 대안의 합계 점수를 구하여 가장 높은 대안을 최적안으로 선정하며 평가항목으로는 대안이 평가항목에 주는 영향도를 고려한다. Matrix 평가법의 변형인 가중치 부여 Matrix 평가법은 특정 공정의 여러 대안 가운데서 최적의 설계안을 선정할 때 가장 널리 사용되고 있다.

Matrix 평가법에서는 “각 평가항목의 중요도가 같다”라는 전제가 있으나, 각 항목의 중요도가 모두 같은 경우는 드문 것이므로 이 방법에서는 각 평가항목에 가중치를 부여한다. 각 대안의 평가점수는 평가항목별 점수에 평가항목의 가중치를 곱한 점수를 합계해서 계산함으로써 최적의 대안을 선정하는 방법이다.

2.2 LCC 분석기법

2.2.1 LCC의 개념 및 목적

건설공사는 공사의 계획부터 설계, 시공, 유지관리, 해체 및 폐기처리에 이르기까지 공통적인 단계를 거치게 되며 이러한 일련의 단계로 구성된 전체과정을 프로젝트의 생애주기라 정의하는데, 각 단계별로 발생하는 모든 비용의 합을 생애주기비용으로 지칭한다. 즉, LCC 분석이란 그림 2.10과 같이 시설물의 설계 및 시공 그리고 유지관리와 해체 및 폐기단계에 이르는 전체공용년수 동안 발생하는 총 비용을 산출해 내고 이에 근거하여 경제성을 평가하는 방법으로서 식(2.5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{LCC} &= \Sigma(\text{생애주기 각 단계에서의 총 비용}) \\ &= \text{계획비용} + \text{설계비용} + \text{시공단계비용} + \text{유지관리비용} + \text{해체비용} \quad (2.5) \end{aligned}$$

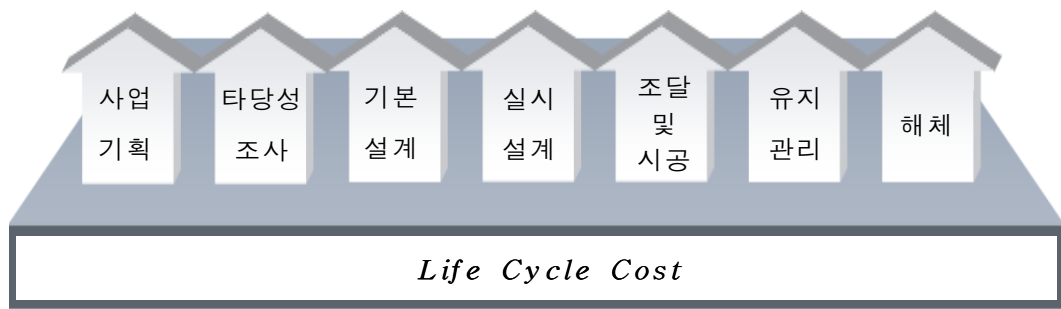


그림 2.10 건설사업에서의 생애주기비용

경제성을 고려한 의사결정의 지원수단으로서 LCC의 활용성 측면을 간단히 정리하면 첫째로 설계단계에서 VE를 위한 수단으로 사용된다는 점, 둘째로 시설물의 안전 및 유지관리를 감안한 대안 설정의 도구로서 활용된다는 점, 셋째로 보수나 전면개량 등의 의사결정에 활용된다는 점, 넷째로 적절한 경제성을 갖는 시설물의 안전 및 유지관리수준 판단에 활용된다는 점 그리고 다섯째로 시설물의 유지관리방향 설정을 위한 도구로 활용된다는 점 등이 있다.

이와 같이 다양한 활용성을 갖는 LCC를 사업수행의 초기에 분석하여 추정할 수 있다면 의사결정권자는 성능과 신뢰도 그리고 유지관리 및 기타 목표에 대해서 최적의 경제적인 대안을 선택할 수 있게 된다.

그림 2.11은 Dell'Isola와 Kirk이 발표한 LCC 기법의 도입시기와 비용절감 가능성에 대하여 나타낸 것으로서, 과거의 경험을 바탕으로 설계초기단계에서 LCC 분석을 수행하는 경우, 가장 큰 비용절감 효과를 기대할 수 있게 됨을 알 수 있다. 다시 말하면, 시설물의 생애기간 중 초기단계에서 내린 의사결정의 영향이 후기에 시설물의 사용, 유지관리에 커다란 영향을 미치기 때문에 계획과 설계단계에서 시설물에 대한 의사결정 과정에 합리적인 평가도구로서 LCC 분석의 필요성이 강조된다.

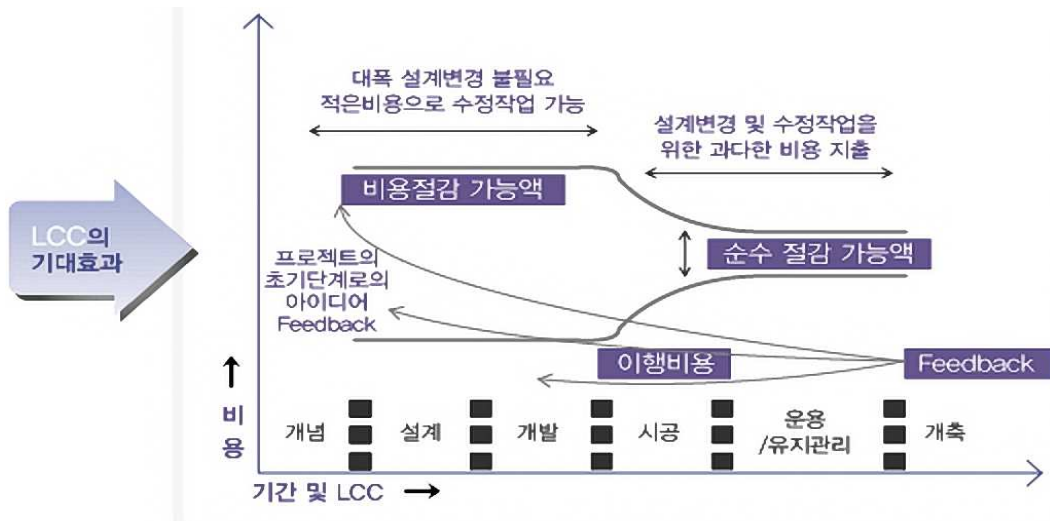


그림 2.11 LCC 기법의 도입시기와 비용절감 가능성

2.2.2 LCC의 비용항목과 할인율

LCC 분석에 포함되는 비용항목은 분석대상 구조물에 따라 적절하게 선택하여 구성하는 것이 중요하며, 건설사업에서 LCC 분석을 위한 일반적인 비용항목은 표 2.4와 같이 구조물의 생애에 필요한 모든 비용으로 구성된다.

표 2.4 LCC 분석을 위한 건설사업의 비용항목

구성항목	세부항목
초기투자비용	· 설계비용(감리비 포함)
	· 직접공사비용(자재비, 노무비, 경비)
	· 간접공사비용(보험료, 안전관리비, 기타 경비 등)
	· 일반관리비용 및 이윤
	· 신기술도입비용
유지관리비용	· 일반관리비용
	· 점검 및 진단비용
	· 보수·보강·개축비용
	· 사용자 비용(사회적 기대비용, 환경비용)
해체/폐기비용	· 해체비용
	· 폐기비용
	· 잔존가치비용

그림 2.12는 1996년 Chang & Shinozuka는 시설물의 LCC에 대한 비용항목을 나타내고 있으며, 사회경제적 효과뿐만 아니라 공학변수와 재해요소 및 재해피해비용 등으로 구성되어 있다.

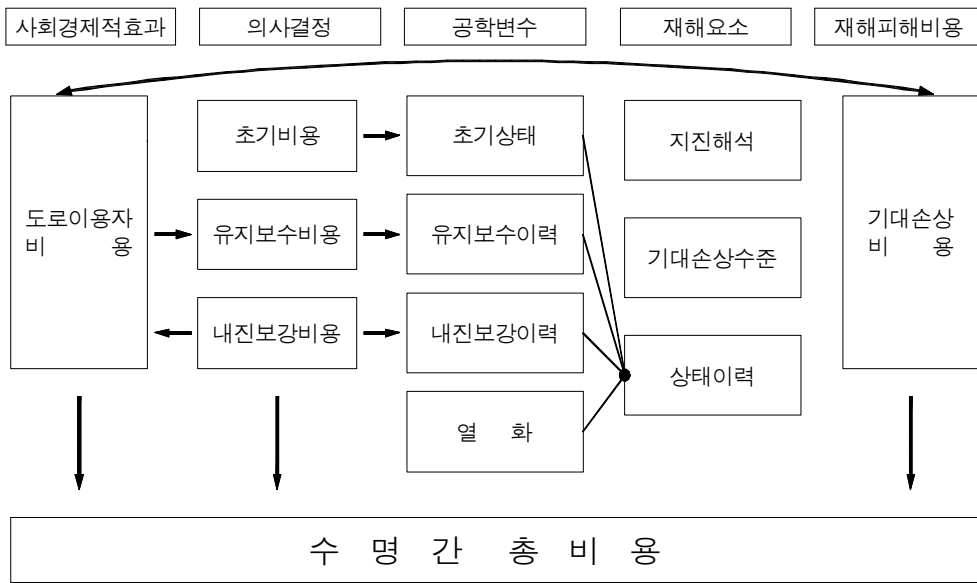


그림 2.12 시설물의 LCC에 대한 비용항목

LCC 분석에서 할인율은 미래의 화폐가치를 현재의 통화가치로 변환시키기 위한 방법으로서 분석과정에 많은 영향을 미치며 일반적으로 할인율은 명목 이자율과 소비자물가지수를 이용하여 산출하는 실질할인율을 의미한다.

LCC 분석을 위해서는 미래비용을 현재비용으로 환산해야 하며, 미래비용을 추정하기 위해 사용되는 개념은 공칭할인율과 실질할인율이 있다. 공칭할인율은 인플레이션 효과를 고려한 할인율이기 때문에 반드시 미래투자에 대한 인플레이션 효과를 고려한 미래비용평가와 연관해서만 사용해야 하며, 일반적으로 은행이자율을 공칭할인율로 사용하는 경우가 일반적이다.

실질할인율은 인플레이션 효과를 제거한 할인율로서 모든 비용을 현재가치로 추정하게 되므로 분석자에게 매우 편리한 방법이지만 돈의 실제 시간가치 반영과 미래의 투자에 대한 인플레이션 효과를 배제한 비용평가와 연관해서 사용되어야 한다.

그림 2.13은 시간에 따른 현재의 비용가치와 할인율과의 관계를 나타내는 것으로, 할인율이 5%와 20%일 때의 기간의 변화에 따른 \$1,000의 현재가치의 변화를 보여주고 있으며 할인율이 높을수록 10년만 지나도 이후에 발생하는 비용은 현재가치를 나타내는 면적에 별로 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

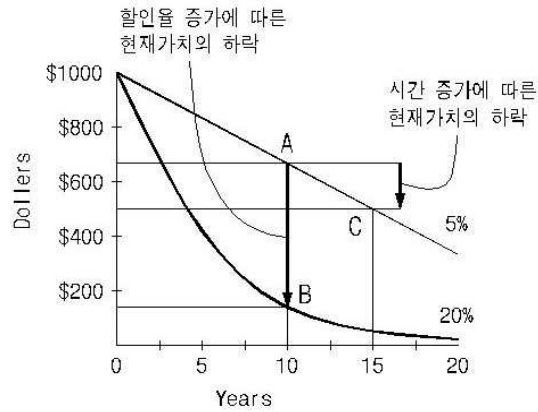


그림 2.13 시간에 따른 현재의 비용가치와 할인율과의 관계

표 2.5는 1994년 이후의 과거 경제지표로부터 소비자 물가지수와 시중은행의 정기예금 금리에 의해 산출한 국내에서 적용해 온 실질할인율에 대한 변화의 추이를 한국은행에서 발표한 주요경제지표에서 발췌하여 보여 주고 있다.

표 2.5 실질할인율에 대한 변화의 추이

년 도	시중은행 정기예금금리 (%)	인플레이션		실질할인율 (%)
		소비자물가지수 (2000년 100기준)	물가상승률 (%)	
1996년	9.00	86.4	4.98	3.83
1997년	10.59	90.2	4.40	5.93
1998년	13.39	97.0	7.54	5.44
1999년	7.05	97.8	0.82	6.17
2000년	7.08	100.0	2.25	4.72
2001년	5.46	104.1	4.10	1.31
2002년	4.71	106.9	2.69	1.97
2004년	3.75	114.7	3.60	0.14
2005년	3.58	117.8	2.70	0.86
평 균	7.17	101.7	3.68	3.37

2.2.3 LCC의 분석절차

건설사업에서 LCC의 분석절차는 적용대상에 따라 조금씩 차이는 있으나 일반적인 절차는 그림 2.14와 같다

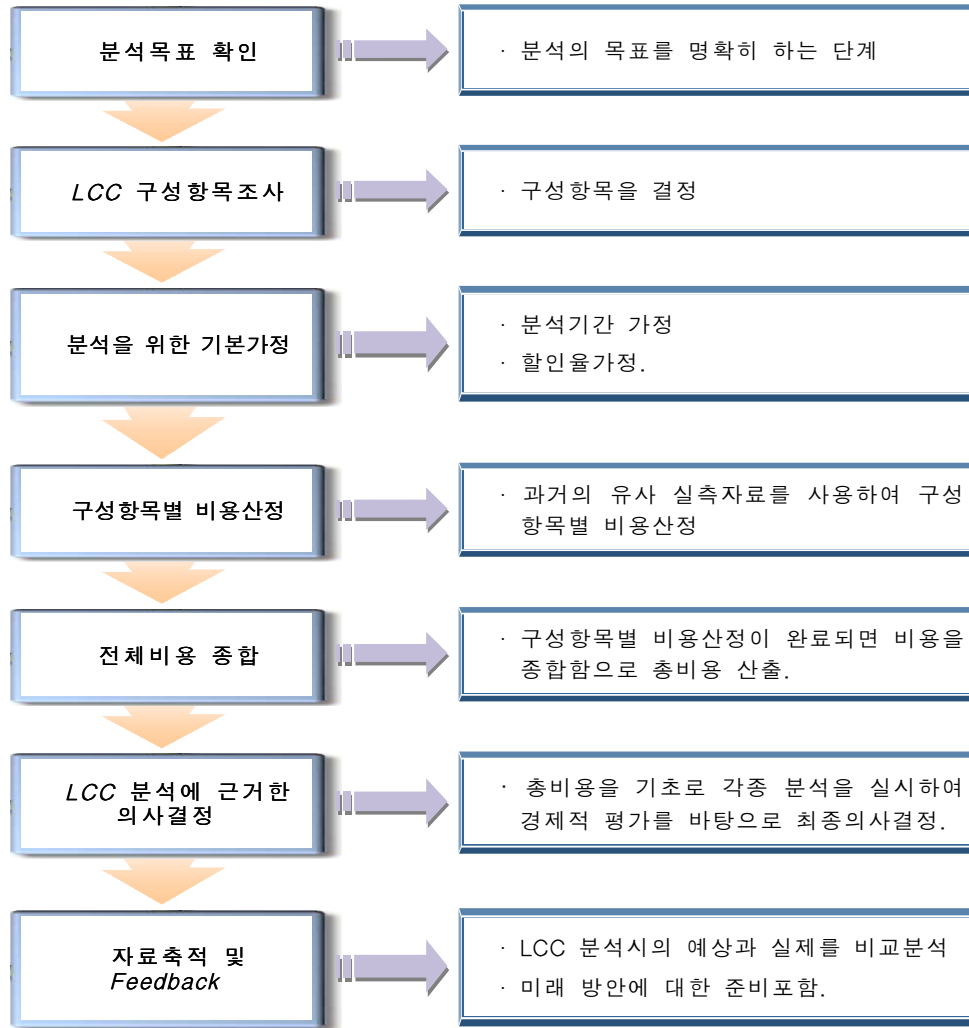


그림 2.14 건설사업에서의 LCC의 분석절차

2.2.4 확정론적 LCC 분석기법

LCC 분석 있어서 확정론적 접근방법은 LCC 분석을 위한 입력변수의 불확실성이나 변동성 등을 고려하지 않는 비교적 간단한 접근방법으로서 LCC 분석시의 최대 기대치만을 사용함으로 인해 결과치도 하나의 LCC 값으로만 얻어지게 되고 입력변수의 불확실성을 전혀 고려하지 못하므로 LCC 결과의 신뢰도가 확률론적 접근방법에 비해 낮은 편이다. 이 때문에 주요 입력변수에 대한 불확실성을 보완하기 위하여 민감도 분석을 수행하게 되나 주요 입력변수의 수가 많을 경우 어려움이 산재되는 단점이 있다.

일반적으로 확정론적 접근방법에 의한 항만시설물의 LCC 분석모델은 현재까지는 정형화되어 있지 않은 실정으로서 본 연구에서는 1996년 Ehlen & Marshall의 NIST Bridge LCC 프로그램의 LCC 분석모델을 참고로 항만구조물의 LCC 분석모델에 적용하였으며, 현재가치의 총기대비용은 식(2.6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$PVLC = IC + PVOMR + PVD \quad (2.6)$$

여기서, $PVLC$ 는 현재가치의 총기대비용이며, IC 는 초기비용, $PVOMR$ 는 유지관리비용의 현재가치로서 식(2.7)과 같이 나타낼 수 있으며, PVD 는 처리비용(D)의 현재가치로서 식(2.8)로 표현할 수 있다.

$$PVOMR = \sum_{k=0}^N \frac{C_k}{(1+i)^k} \quad (2.7)$$

$$PVD = \sum_{k=0}^N \frac{D}{(1+i)^k} \quad (2.8)$$

여기서, C_k 는 k년에 발생하는 모든 비용을 나타내며, i 는 할인율, N 는 LCC 분석기간을 의미한다.

2.2.5 확률론적 LCC 분석기법

확률론적 LCC 분석은 비용항목의 발생가능성 뿐만 아니라 비용항목이 발생 가능한 전체 범위에서 비용을 컴퓨터 시뮬레이션 기법에 의해 해석하는 방법으로서 확정론적 LCC 분석기법에 비해 입력변수의 불확실성이나 변동성을 고려할 수 있을 뿐만 아니라 향후 비용발생이 예상되는 위험도를 관리함으로써 미래 발생비용을 최소화할 수 있는 대응방안의 수립에 매우 유리한 방법이다. 1998년도에 Walls III과 Smith는 FHWA에서 포장설계를 위한 LCC 분석 지침서에서 확률론적 접근방식을 추천한 바 있다. 미국에서는 이러한 포장설계 뿐만 아니라 광범위한 분야에 대한 확률론적 LCC에 관한 연구를 다수 수행하였으며, LCC 분석과 관련된 보수 및 보강주기, 내구년한, 시공, 유지관리, 폐기처분 및 사용자비용 등과 관련된 비용요소 등 수많은 불확실한 요소로 인하여 LCC 분석시의 확률론적 접근방식을 적극적으로 권장하고 있는 추세이다.

확률론적 LCC 분석에 있어 입력변수의 특성치를 고려하기 위한 방법으로 통계적인 데이터가 충분한 경우에는 통계데이터의 확률분포와 변동성을 그대로 적용하거나 일반적으로 그림 2.15와 같은 정규분포로 가정하며, 통계적인 데이터가 불충분한 경우에는 전문가 설문에 의한 평가가 유일한 수단이 되며, 전문가 설문조사에 의한 통계치를 얻어 확률해석을 수행하는데 있어 일반적으로 그림 2.16과 같은 삼각형분포로 가정한다.

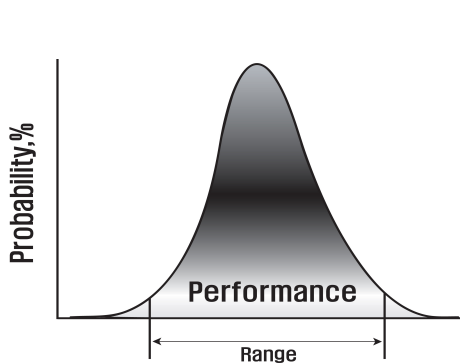


그림 2.15 통계적인 데이터가 충분한 경우

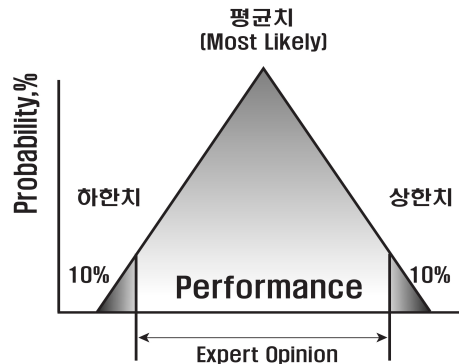


그림 2.16 통계적인 데이터가 불충분한 경우

확률론적 LCC 분석시의 불확실성을 포함한 LCC의 결과는 확률분포의 형태, 즉 비용빈도분포 및 누적빈도분포의 형태로 표출된다. 그림 2.17과 그림 2.18은 각각 비용의 발생빈도 분포(PDF)와 비용의 누적발생빈도 분포를 나타내고 있다.

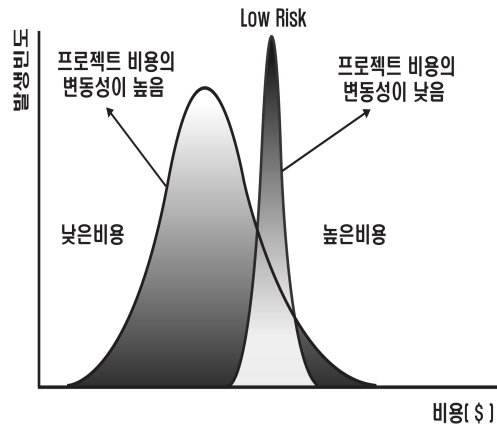


그림 2.17 비용의 발생빈도 분포

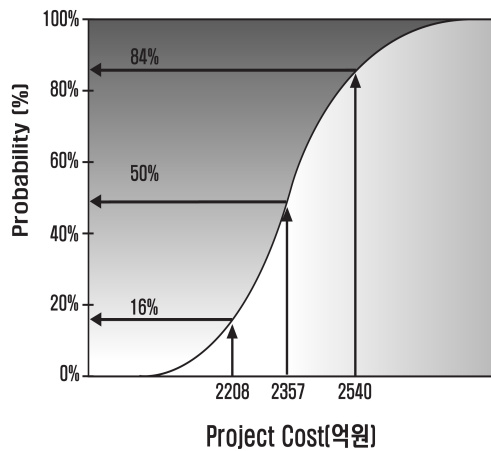


그림 2.18 비용의 누적발생빈도 분포

확률적 접근방법에 대한 일반적인 절차모델로써 1단계는 문제의 논리와 구조를 설정하고, 2단계는 불확실변량의 확률을 모형화한다. 그리고 3단계는 Latin Hypercube Sampling에 의한 시뮬레이션을 하고 4단계는 결과분석으로서 결과의 발생 가능한 최소·최대치의 범위 도출 및 비용항목 발생확률을 추정한다. 또한 5단계는 의사결정으로서 전략 계획, 예산할당, 투자시간 등의 의사결정을 한다.

전문가 의견을 이용한 모델링 즉 입력변수의 분포에 대한 경계와 일반적인 모양은 전술한 그림 2.16의 삼각형 분포를 나타낸다. 전문가 설문을 이용한 확률분포의 모델에 있어 근거가 명확한 정보들의 분산도, 추세도, 기초적인 통계 및 유용한 히스토그램을 이용하여 전문가에게 설문자료를 제공해야 하며, 특히, 입력 자료의 전반적인 불확실성, 입력변수간의 가능한 관련성 및 상호의존도 등을 포함하게 된다. 전문가의 의견을 바탕으로 입력변수의 특성치(평균, 변동계수, 상한치, 하한치 등)를 형성하기 위해 제시된 확률분포의 종류는 표 2.6과 같다.

표 2.6 입력변수에 대한 특성치 형성을 위한 확률분포의 종류

분포형태	조 건
Triang	곡선의 꼬리 수치가 없을 경우에 사용
Trigen	곡선의 꼬리 수치가 있는 경우에 사용
General	전문가 융통성에 의해 곡선모양을 조절하여 표현
Discrete	전문가의 의견에 의해 가중치를 주어 확률분포를 표현하는 경우
Uniform	최대/최소 사이의 데이터가 균일하게 발생되며, 최대/최소 밖에서는 데이터의 발생이 없다고 판단되는 경우
Normal	만일 데이터가 정규분포일 것이라고 판단되면 최확기대치, 최대/최소 값을 이용하여 표현 가능하며, 표준편차 ± 2 는 데이터의 95%에 접근한다고 가정함. 표준편차의 산정 식은 (최대-최소)/4를 이용함.

2.3 VE 및 LCC 분석의 상관성과 절차

VE 및 LCC 분석기법은 공히 프로젝트의 비용절감을 주목표로 하고 있으나 설계 VE의 분석시의 비용은 LCC로 하고 기타 비경제적인 요소에 대한 종합적인 분석을 통한 조직적인 활동이다. LCC 분석기법은 기본적인 요구사항 및 기능을 만족시키는 대안에 의사결정을 최소한의 총생애주기비용 분석을 통하여 산정한다.

설계 VE는 가치향상을 할 수 있는 다각적인 개선안에 대한 검토이며, VE분석의 각 단계에서 비용 분석시의 초기공사비 절감만이 아니라 LCC 개념에 입각하여 분석하며, 초기비용 절감만을 목표로 할 경우 서비스 수준이 저하된다든지, 시설물의 공용수명을 감소시켜 결과적으로 설계 대상물의 가치가 저하된다.

1981년 Dell'Isola과 Kirk이 제시한 그림 2.19는 설계 VE와 LCC의 관계에 대한 개념도를 보여주고 있다.

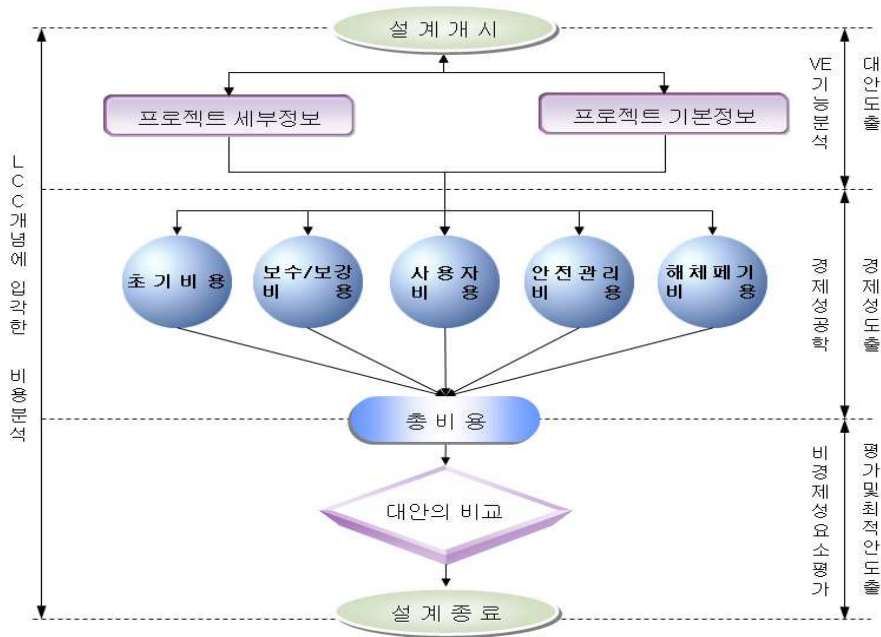


그림 2.19 설계 VE와 LCC의 관계에 대한 개념도

그림 2.20는 설계 VE 및 LCC 분석의 절차를 보여주고 있으며, 설계개시 후 프로젝트의 기본정보와 세부정보를 분석하여 대안에 대한 경제적인 요소와 비경제적인 요소를 종합 분석하여 최적의 설계안을 도출한다.

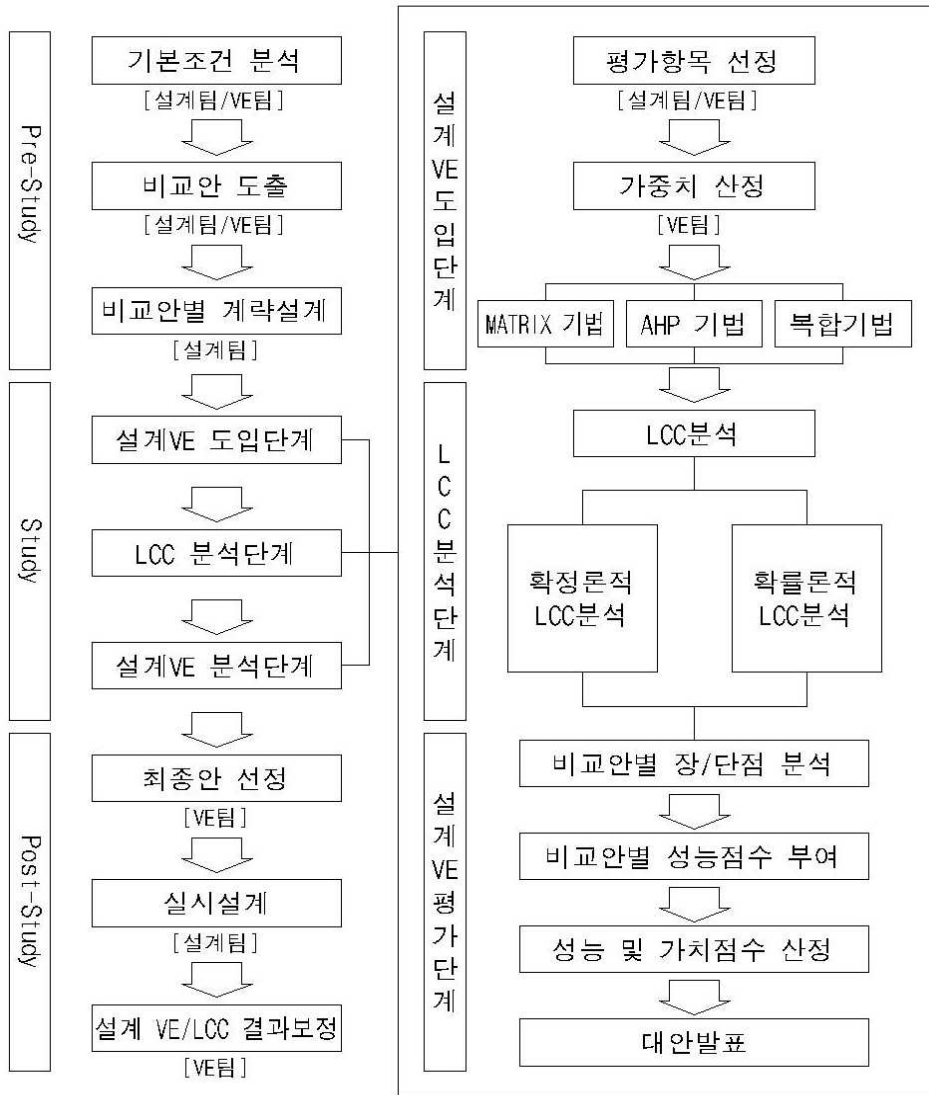


그림 2.20 VE 및 LCC 절차

제3장 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석모델

3.1 퍼지신뢰성 이론

3.1.1 퍼지로직 이론

1965년 미국 캘리포니아주 버클리대학의 L.A Zaden 교수가 "Fuzzy sets"란 논문을 발표하면서 시작되었으며, 다양한 인간의 언어적 표현을 컴퓨터로 적절히 처리하고자 하는 욕망에서 비롯되었다.

주관적이고 정성적인 정보를 객관적으로 정량화시키는 효율적인 방법으로서 퍼지이론을 이용할 수 있으며, 퍼지이론은 인간의 모호한 표현을 처리할 수 있는 이론적 바탕을 제공하고 있으며, 그 주요 내용으로는 주관적 정보를 언어변수로 표현해 객관화가 가능하며, 복잡한 문제의 해결을 위해 어떤 사실을 단순화하는 과정에서 가능한 한 정보의 손실을 최소화하는 방법으로 인간의 모호한 표현을 처리할 수 있다.

또한, 모호한 표현의 처리는 불확실한 상태를 나타내는 표현에 내포된 의미를 미리 정의하고, 그 의미에 포함될 가능성을 갖는 원소의 집합을 퍼지집합(Fuzzy set)으로 표시할 수 있다.

기존의 VE 분석단계 중 가치평가를 위한 품질모델에 따른 성능점수 산정의 문제점을 개선하기 위하여 수학적 방법인 퍼지이론을 이용하여 대안별 성능평가를 계량화하고 객관적으로 전개할 필요가 있다. 본 연구에서는 관련전문가들의 의견반영 및 최적대안을 작성하기 위한 근거를 제시하고자 퍼지이론을 이용한 의사결정모델에 의하여 항만구조물의 각종 대안에 대한 성능평가를 수행하였다.

퍼지이론은 진단과 평가 및 의사결정 등에 적용할 수 있는 인공지능기법으로서 정성적 및 정량적인 조사 자료와 주기능 항목들을 퍼지화하고 퍼지관계를 통해 주기능 항목들의 소속정도를 추론하며, 다시 비퍼지화 과정을 통해 주기능 항목별로 정량적인 평가결과를 도출할 수 있다.

일반적으로 시스템의 특성이 복잡하여 정량적으로 해석하기 어렵거나 정보가 정성적이고 부정확한 경우에는 퍼지로직 이론을 이용한다. 예를 들어 항만구조물의 대안별

성능평가 시스템에 대한 전문가의 지식을 가지고 있으나 수학적 분석이 어려운 경우에는 퍼지이론을 이용한다. 퍼지로직은 입력 자료를 퍼지화한 다음 퍼지추론을 통해 결과를 도출한 후 결과를 비퍼지화 하여 크리스프 값으로 나타내게 된다.

퍼지규칙은 일반적으로 If-Then 형식으로 나타낼 수 있으며 퍼지추론이란 어떤 주어진 규칙으로부터 새로운 관계나 사실을 유추해 나가는 일련의 과정이다. Max-Min 추론을 사용하여 입력변수 8, 출력변수 1인 시스템을 구성하면 Mamdani의 Min 연산은 식(3.1)과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 &\text{Input: } x_1 \text{ is } A' \text{ and } x_2 \text{ is } B' \text{ and } x_3 \text{ is } C', \dots \text{ and } x_8 \text{ is } H' \\
 &R^1: \text{IF } x_1 \text{ is } A_1 \text{ and } x_2 \text{ is } B_1, \dots \text{ and } x_8 \text{ is } H_1, \text{ THEN } y \text{ is } P_1 \\
 &\text{or } R^2: \text{IF } x_1 \text{ is } A_2 \text{ and } x_2 \text{ is } B_2, \dots \text{ and } x_8 \text{ is } H_2, \text{ THEN } y \text{ is } P_2 \\
 &\text{or } R^8: \text{IF } x_1 \text{ is } A_8 \text{ and } x_2 \text{ is } B_8, \dots \text{ and } x_8 \text{ is } H_8, \text{ THEN } y \text{ is } P_8 \\
 &\text{or } R^n: \text{IF } x_1 \text{ is } A_n \text{ and } x_2 \text{ is } B_n, \dots \text{ and } x_8 \text{ is } H_n, \text{ THEN } y \text{ is } P_n \\
 &\text{Conclusion: } y \text{ is } P' \\
 &R_p: \mu_p(y) = \text{Max}(\alpha_i \text{Min} \mu_{P_i}(y)) \quad (3.1) \\
 &= \text{Max}[\mu_{A_i}(x_{o1}) \text{Min} \mu_{B_i}(x_{o2}) \dots \text{Min} \mu_{H_i}(x_{o8})] \text{Min} \mu_{P_i}(y)
 \end{aligned}$$

여기서, $A', B', \dots H'$ 는 입력에 대한 퍼지집합을 나타내며, A_i, B_i, H_i, P_i 는 퍼지 규칙의 x_1, x_2, x_8, y 에 대한 퍼지집합을, P' 는 결론에 대한 퍼지집합이다. R_p 는 Mamdani의 Min 연산규칙을 의미하며, α_i 는 i 번째 규칙에 대한 점화강도를 나타내며, $\mu_{A_i}, \mu_{B_i}, \mu_{H_i}, \mu_{P_i}$ 는 퍼지집합 A_i, B_i, H_i, P_i 에 대한 소속도함수를 표현한 것이다. 그리고 x_{o1}, x_{o2}, x_{o8} 은 시스템의 실제 입력 값이며, R^i 는 퍼지규칙의 번호이고, Max 는 논리합, Min 은 논리곱이다. 비퍼지화는 소속도함수로 표현되는 퍼지량을 크리스프 값으로 변환하는 것으로 여러 가지 방법이 있으나 무게 중심법이 가장 일반적으로 사용되며 식(3.2)와 같다.

$$y = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_A(y_j) y_j}{\sum_{j=1}^n \mu_A(y_j)} \quad (3.2)$$

여기서, n 은 전체출력의 분할정도이며, y_j 는 분할정도 j 에 따른 출력을 나타내며, $\mu_P(y_j)$ 는 결론부 퍼지집합 P 에 대한 y_j 의 소속도함수를 의미한다.

퍼지논리 이론을 이용한 제어시스템은 작업자의 시스템에 대한 지식과 경험에 기초한 인간의 판단 등의 애매성을 포함하는 제어전문지식을 언어적 제어 규칙으로 표현하고, 퍼지추론을 통해 컴퓨터에 실행될 수 있도록 한 것이다. 그림 3.1과 같이 퍼지제어는 입력변수의 퍼지화, 퍼지제어 규칙의 작성, 퍼지결정 및 비퍼지화의 4가지 단계로 나누어진다.

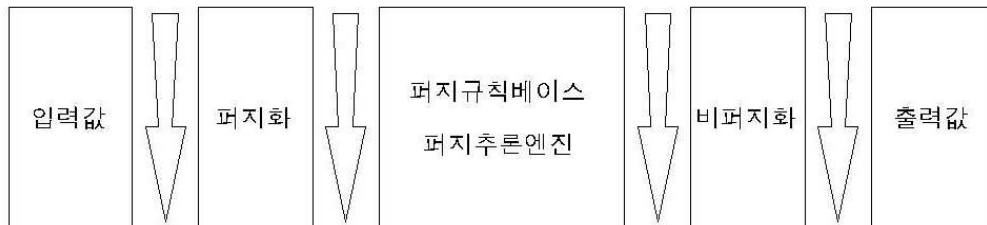


그림 3.1 퍼지로직 제어시스템

첫 번째 단계는 명확한 값으로 측정된 입력변수 값을 적절한 퍼지 값으로 변환시키는 퍼지화 작업이다. 두 번째와 세 번째의 단계는 알고 있는 인과관계로부터 새로운 사실을 유도하여 퍼지제어 규칙을 작성하고 결정하는 퍼지추론 단계이다.

본 연구에서는 전문가의 지식을 통한 퍼지규칙의 생성이 어려워 기존의 성능평가 자료를 이용하여 퍼지관계를 계산하는 직접법을 사용하였으며, 이중 계산과정이 간단하여 추론시간이 빠른 Mamdani의 방법인 Max-Min방법을 사용하여 프로그램을 구성하였다. 네 번째 의사결정 단계는 비퍼지화 단계라고 불리는데, 이 비퍼지화는 과거추론의 결과로 발생한 퍼지집합을 응용시스템에 적용하기 위해 실수 값으로 전환하는 과정을 말한다(Frangopol 1999).

3.1.2 신뢰성 이론

구조물의 신뢰도란 내용기간 동안 설계목적상의 기능 및 안전도를 확보할 수 있는 능력, 즉 내용기간 동안 발생 가능한 모든 재하환경으로 인한 악조건으로부터 파괴되지 않고 안전성을 확보할 수 있는 확률로서 정의할 수 있다. 공학문제에 필연적으로 발생할 수밖에 없는 불확실성을 정량적으로 고려하는 신뢰성 해석방법은 파손의 가능성 즉, 한계상태의 파괴확률을 정량적으로 제시하고 있다.

이와 같은 신뢰성 해석은 크게 4가지의 신뢰성 설계방법으로 구분되어 있으며 이중 Level 1, 2 및 3 방법은 가정된 구조단면에 대해 신뢰성 해석 및 설계가 가능한 반면에 Level 4 방법은 안정성 검토 및 비용 효율적인 설계가 가능하고 경제성이 주요한 이론적 척도가 되는 구조물인 항만구조물 등의 설계에 적합한 방법이다. 신뢰성 해석 및 설계수준을 정리하면 표 3.1과 같이 된다.

신뢰성 해석에 있어 설계 시 포함될 수 있는 기존의 불확실량들을 통계적인 추정에 기초한 확률모형 즉, 신뢰성 이론에 의해 신뢰도 또는 신뢰성지수(β)의 척도로 하여 해석할 수 있으며, 신뢰성지수는 그림 3.2와 같이 정의된다(조 1994, 방 1994).

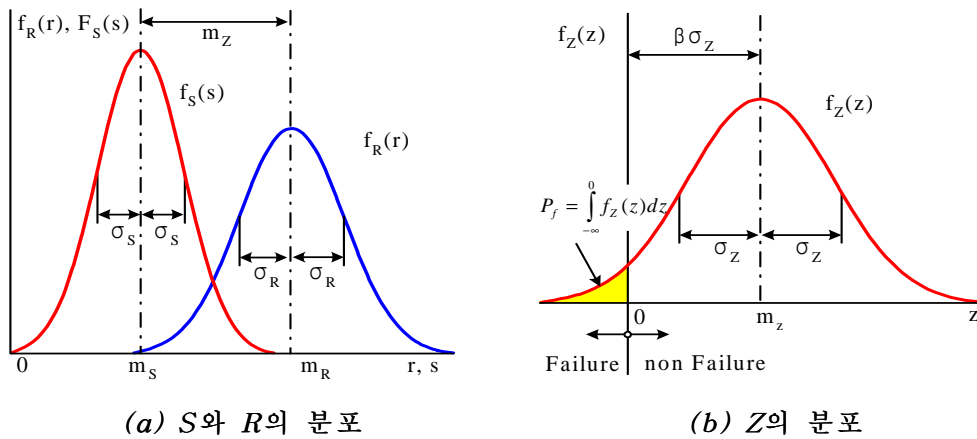


그림 3.2 신뢰성지수

표 3.1 구조물의 신뢰성 해석 및 설계방법

구조	해석 및 설계
<p>Level I (하중저항 계수법)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 구조물이 한계상태를 넘는 확률이 허용치 이하가 되도록 각 변수의 변동계수를 고려한 특성치와 안전율에 따라 안정성을 검토 - 치명적인 위험성을 가진 구조물을 설계할 위험을 감소시키는 것이 가능한 설계방법으로 이미 각종 설계 Code로써 도입되어 있는 방법임. - 국제표준화기구(ISO)에 제정된 구조물의 설계법의 기본으로서 Level I의 설계법이 확립되어 있음.
<p>Level II (제2모멘트법)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 구조물의 확률분포를 데이터 통계분석에 기초하여 적절한 분포로 가정한 후, 내력 및 하중의 평균치와 표준편차로부터 구해지는 안정성지표인 신뢰성지수의 산정 및 검토
<p>Level III (진확률분포법)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 구조물의 파손에 관계된 모든 확률변수들의 평균과 분산 및 결합확률 밀도함수를 이용하여 파괴확률을 정확하게 산정하는 방법 - 일반적으로 파괴확률을 구하기 위해서는 파괴영역에 대한 결합확률밀도 함수의 적분이 필요하나 이는 수치적으로 산정하기 매우 어려움으로 시뮬레이션 기법이 많이 사용됨
<p>Level IV (총기대비용 최소화 법)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Level I~III 방법에 의한 구조물의 파괴확률과 구조물의 파괴시 발생되는 비용을 고려하여 구조물의 중요도에 따른 성능기준 설계가 가능 - 일반적으로 Level IV 방법은 파괴확률을 일반설계조건 이외에 추가적인 제약조건으로 고려하고 공사비용을 최소화하는 설계를 유도하는 방법으로 알려져 있음. - 최근에는 공용간 성능저하 및 하중의 발생확률을 고려한 파괴확률을 구하고, 파괴발생시에 소요되는 기대비용에 따른 총 생애주기비용을 최소화하는 최적설계가 이루어지고 있음.

저항(R)과 하중작용(S)을 비교하여 저항(R)이 하중작용(S)보다 클 때 구조물은 안전하고, 양자의 차이($Z = R - S$)를 안전영역 혹은 안전여유라 부르며 $R = S$, 즉 $Z = 0$ 을 한계점이라 칭한다. 하중작용(S)과 저항(R)이 서로 독립되는 것으로 하면 각각의 중앙값 m_S 와 m_R , 표준편차 σ_S 와 σ_R 및 확률밀도함수 $f_S(s)$ 와 $f_R(r)$ 또한 독립이라 할 수 있게 된다. 또한 S와 R은 불확실성을 갖는 파라미터의 함수이므로 안전영역 Z는 어느 확률밀도함수 $f_z(z)$ 로 분포된다. 그림 3.2 (b)에서 알 수 있듯이 Z 평균값은 저항분포의 중앙값과 하중작용분포의 중앙값의 차이이며, 파괴확률 P_f 는 $z \leq 0$ 의 범위에 대한 확률밀도함수 $f_z(z)$ 가 둘러싼 면적으로서 주어지며, 파괴확률은 식(3.3)과 같이 되고, 또한 안전영역 Z가 표준정규분포를 취하면 파괴확률은 식(3.4)와 같이 된다.

$$P_f = \int_{-\infty}^0 f(z)dz \quad (3.3)$$

$$P_f = \Phi(-\beta) = 1 - \Phi(\beta) \quad (3.4)$$

여기서 Φ 는 표준정규분포함수로서 식(3.5)와 같고, 신뢰성지수는 식(3.6)과 같다.

$$\Phi(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\beta} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \quad (3.5)$$

$$\beta = \frac{m_z}{\sigma_z} = \frac{m_R - m_S}{\sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_S^2}} \quad (3.6)$$

여기서, β 는 신뢰성지수이며, m_R 과 σ_R 은 구조물 저항분포의 평균치 및 표준편차이고, m_S 과 σ_S 는 하중작용분포의 평균치 및 표준편차를 나타낸다.

확률밀도함수의 평균값 m_z 는 신뢰성지수와 안전여유분포의 표준편차의 곱으로 표현될 수 있으며, 파괴확률 P_f 는 함수 $f_z(z)$ 의 특성값으로 파악할 수 있으며 β 의 값이 같으면 신뢰성도 같게 된다. 본 연구에서는 실측한 저항 및 하중 측정치의 분포를 Gauss의 정규분포로 가정하였다.

확률적 개념에 의한 구조안전성의 척도인 구조물의 신뢰성 P_r 은 파괴확률 P_f 와 보확률의 관계를 갖으며, 이 때 신뢰성지수와 파괴확률과의 관계는 표 3.2와 같이 된다.

표 3.2 신뢰성지수 β 와 파괴확률 P_f 와의 관계

β	0	1	2	3	4	5
P_f	5.00E-01	1.59E-01	2.28E-02	1.35E-03	3.17E-05	2.87E-07

총 기대비용의 최소화는 불확실한 상황에서의 시공과 파괴시의 복구와 유지관리 등의 기대비용 및 이익에 관한 경제성 분석 또는 사회 경제성 원리를 이용한 최적화 기법으로서 기대생애주기 비용을 최소화하기 위한 비용함수는 안전에 가장 지배적인 구조성능에 대한 파괴기대비용과 초기비용에 국한하여 목적함수로 정식화할 수 있고, 총 기대비용 최소화에 의한 최적설계 모델은 식(3.7)과 같이 된다.

$$C_T = C_I + P \cdot f C_F \Rightarrow \min \quad (3.7)$$

여기서, C_T 는 총 기대비용이며, C_I 는 초기비용을 나타내고 C_F 는 파괴비용을 그리고 P_f 는 구조성능의 파괴확률이다. 식(3.7)의 총 기대비용은 파괴비용이 고려되며, 이와 같이 총 기대비용에 파괴비용이 고려되는 경우는 1997년도의 Frangopol 연구 외에도 1998년도의 Ang 등의 연구에서도 찾아 볼 수 있다. 최적설계 및 성능개선을 위한 보수·보강 수준의 결정, 곧 최소 LCC를 갖는 최적 성능설계 및 성능개선에 대한 의사결정기법에 사용되는 정식화이다. 비용 효율적인 최적설계란 안전성을 만족하면서 구조수명간 최소 비용을 도모해야 한다. 따라서 항만구조물의 최적 신뢰성 해석 및 성능개선을 위해서는 안전성과 경제성이 균형화된 실용적이고 합리적인 접근방법이 필요하게 되고, 항만구조물의 붕괴에 따른 직·간접 손상비용의 정량화는 총 기대비용 최소화 개념에 의해 가능하게 된다. 특히 총기대비용 최소화에 의한 신뢰성 해석을 1991년도에 Chou와 1991년도의 Kanda 등이 제안한 바 있다. 1991년도의 Kanda의 신뢰성 해석방법은 초기비용 C_I 를 정규화된 비용증가의 비와 중앙 안전율을 사용하여 식(3.8)과 같이 표현하였다.

$$C_I = C_{I0} \cdot [1 + k \cdot (n_0 - 1)] \quad (3.8)$$

여기서, C_{I0} 는 본래의 초기비용이며, k 는 정규화 된 비용증가의 비를 나타내고, n_0 는 중앙안전율로서 저항에 대한 하중작용의 비로서 표현될 수 있다. 또한 식(3.9)와 같이 파괴손실비용은 초기비용의 τ 배로 정의할 수 있다.

$$C_F = \tau(x) \cdot C_{I0} \quad (3.9)$$

식(3.9)에서 $\tau(x)$ 는 항만구조물의 상태지수 값(x)에 의한 정규화 된 파괴비용함수로 식(3.10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau(x) = \tau_2 + \left(\frac{x - x_0}{1 - x_0} \right)^n \cdot (\tau_1 - \tau_2) \quad (3.10)$$

여기서, τ_1 은 x_0 일 때의 정규화된 파괴비용이며, τ_2 는 $x=1$ 일 때의 정규화 된 파괴비용을 나타낸다. 식(3.10)에서의 항만구조물의 상태지수 또는 건전지수(x)는 퍼지추론에 의해 구한 값을 사용한다. 한편, Lind-Hasofer가 제안한 AFOSM법 중에서 하중계수에 기초한 최적신뢰성 해석을 이용하면 대수정규화 변환에 의한 하중효과는 식(3.11)과 식(3.12)와 같이 표현되고, α_s 와 Ω_s 는 하중효과의 선형화계수와 변동계수이다.

$$S = \frac{1}{\sqrt{(1 + \Omega_s^2)}} \exp(-\alpha_s \beta \Omega_s) \mu_s \quad (3.11)$$

$$\alpha_s = \frac{\Omega_s}{\sqrt{(\Omega_R^2 + \Omega_s^2)}} \quad (3.12)$$

단일 한계상태에 대한 최적 신뢰성지수 β_{opt} 는 식(3.13)과 같이 정의할 수 있다.

$$\beta_{opt} = -\alpha_s \Omega_s + \sqrt{(\alpha_s \Omega_s)^2 + 2 \ln \left(\frac{\tau(x) \sqrt{(1 + \Omega_s^2)}}{\sqrt{(2\pi)} \alpha_s \Omega_s} \right)} \quad (3.13)$$

3.2 항만구조물의 퍼지신뢰성 분석모델

3.2.1 파괴가능성의 정의

항만구조물의 구조시스템에 있어서는 확률과 통계이론으로 구해진 랜덤성을 갖는 객관적인 불확실성 뿐만 아니라 설계자의 경험이나 공학적 판단에 의해 주관적으로 평가되는 인간오차나 시공 중의 과오 또는 구조설계에 미치는 사회적·정치적 및 경제적 요청 등의 퍼지성을 갖는 주관적 불확실성이 함께 존재하게 된다. 이 때문에 현실적으로 랜덤성과 퍼지성을 동시에 고려한 유지관리를 위한 신뢰성 평가에 대한 퍼지이론의 도입이 필수 불가결한 것이다.

실제 항만구조물에 있어서는 수치정보로 표현하기 어렵고 인간오차나 시공 중의 과오와 같이 전문가의 주관적 판단 등 항만구조물에 내재되어 있는 열화·손상요인이 다양하고 매우 많기 때문에 실질적으로 전문가의 경험적 판단 아래 정성적으로 신뢰성 평가가 이루어지는 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 주관적 신뢰성 해석모델 개발에 관한 기초단계로서 그림 3.3~3.4와 같이 퍼지확률과 같은 파괴가능성 이론을 도입하여 퍼지신뢰성 해석을 수행하였다(吉田均 1992, 1997).

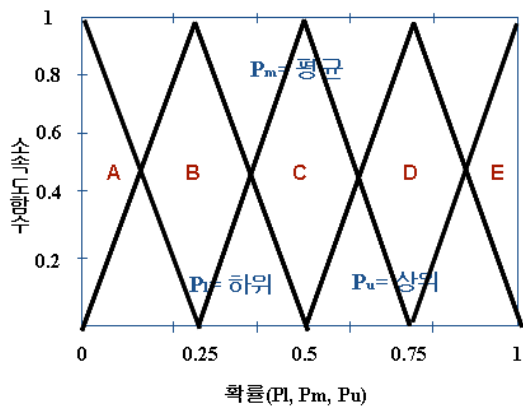


그림 3.3 퍼지확률

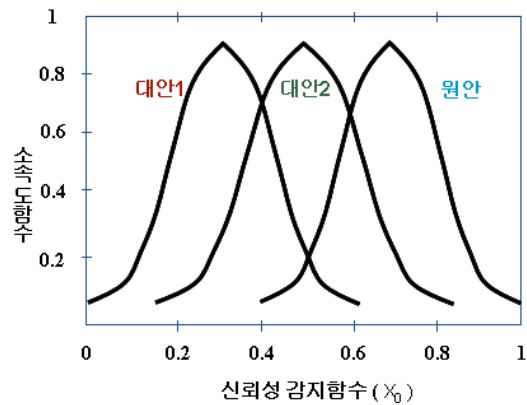


그림 3.4 파괴가능성

이 때 파괴가능성은 항만구조물의 신뢰성 평가를 통일적으로 표현하는 척도로 정의할 수 있고 자연언어변수를 사용한 [0, 1]상의 퍼지집합으로 표현된다. 이 때 파괴가능성의 소속도함수는 퍼지집합의 등급을 1로 하는 매개변수, 즉 최대 소속도함수의 등급이 주어진 매개변수 X_0 를 전문가의 공학적 판단에 의한 주관적 판단의 불확실 범위로 표현되는 퍼지성계수 m 으로 나타내면 식(3.14)와 같이 정의된다.

$$\mu(X) = \frac{1}{1 + 20 \times |X - X_0|^m} \quad (3.14)$$

여기서, X 는 본래의 주관적 신뢰성 감지함수이며 m 은 퍼지성 계수를 나타낸다.

이러한 퍼지성 계수 m 은 Dobois-Prade의 퍼지수 개념을 이용하여 구한 퍼지확률에서 PM/PL, PU/PM과의 비로 결정되는 함수로 나타낸 주관적 판단의 불확실 범위를 정해주는 계수로서 표 3.3과 같이 된다. 여기서, PM은 평균 퍼지확률이며, PU는 상위 퍼지확률, PL은 하위 퍼지확률을 의미한다.

표 3.3 m , κ 와 언어변수

등급	κ (=PM/PL or PU/PM)	m	언어변수
1	$\kappa \leq 3$	2.0	애매성이 적다
2	$3 < \kappa \leq 5$	2.5	애매성이 중간정도이다
3	$5 < \kappa \leq 10$	3.0	애매성이 약간 크다
4	$10 < \kappa$	3.5	애매성이 크다

그림 3.8b와 같이 주관적 신뢰성 감지함수는 X_0 가 0.5를 기준으로 X_0 가 0.5보다 작으면 안전영역이고, X_0 가 0.5보다 크면 파괴영역으로 신뢰성지수를 0에서부터 1사이의 수치로 치환한 것이다.

3.2.2 항만구조물 부재요소의 퍼지신뢰성 해석

1998년과 1999년도에 Frangopol 등이 개발한 손상된 구조물에 대한 시간이력의 신뢰성 해석 모델을 이용하였으며, 보유성능에 의한 신뢰성지수의 감소는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 이 때 상태평가에 의한 신뢰성지수의 감소를 계산하는데 필요한 $R(t)$ 는 식(3.15)와 같은 퍼지이론을 이용한 상태평가 모델을 사용하였다.

$$\Delta\beta = \frac{1}{\sqrt{(\sigma_{\ln S})^2 + (\sigma_{\ln R})^2}} \ln \frac{R_0}{R(t)} \quad (3.15)$$

여기서, $\Delta\beta$ 는 손상된 부재요소에 대한 신뢰성지수의 감소이며, $\sigma_{\ln S}$ 는 하중효과에 대한 표준편차를 나타내고, $\sigma_{\ln R}$ 은 저항에 대한 표준편차, R_0 는 원래의 공칭저항 휨강도, $R(t)$ 는 시간이력 저항 휨강도를 의미한다.

항만구조물의 부재요소에 대한 점검시점의 시간이력 신뢰성지수는 식(3.16)과 같이 나타낼 수 있으며, β_{opt} 은 Kanda가 제안한 신뢰성 해석으로 산정된다.

$$\beta(t) = \beta_{opt} - \Delta\beta \quad (3.16)$$

여기서, $\beta(t)$ 는 손상부재요소의 시간이력 신뢰성지수이고, β_{opt} 는 최적신뢰성지수이며, $\Delta\beta$ 는 신뢰성지수의 감소이다.

본 연구에서는 신뢰성 정도, 즉 공용기간 중에 존재하게 되는 신뢰성정도를 신뢰성감지함수로 택했고, 시간에 따른 항만구조물 부재요소의 구조저항의 감소로 정의하였다.

항만구조물 손상 부재요소의 시간이력 신뢰성지수, 즉 정량적인 객관적 신뢰성지수를 이용하면 항만구조물 구조시스템의 손상 부재요소에 대응하는 신뢰성 정도 즉, 정성적인 파괴가능성의 주관적 신뢰성 감지함수 X_o 는 식(3.17)과 같이 표현된다.

$$X_o = \frac{1}{1 + (k \times \log(1/P_{fi}))^3} \quad (3.17)$$

3.2.3 시간이력의 주관적 보유신뢰성 해석모델

본 연구에서는 항만구조물 부재요소의 역학적 특성에 의한 객관적 신뢰성지수와 퍼지이론에 기초한 파괴가능성의 주관적 신뢰성지수를 동시에 고려한 공용수명에 따른 구조저항에 대한 시간이력의 주관적 보유신뢰성 해석모델을 나타내면 식(3.18)과 같이 된다.

$$\beta_X(t) = \beta_{X_t} \cdot \Phi_{\beta_X}(t) \quad (3.18)$$

여기서, $\beta_X(t)$ 는 휨 강도에 대한 시간이력 주관적 신뢰성지수이며, β_{X_t} 는 휨 강도에 대한 원래 주관적 신뢰성지수를 나타내고, $\Phi_{\beta_X}(t)$ 는 주관적 신뢰성 감소함수이다.

Frangopol 등은 식(3.18)에서 저항 휨 강도에 대한 주관적 신뢰성지수와 원래의 공칭 저항 휨 강도에 대한 주관적 신뢰성지수의 비주관적 신뢰성 감소함수, 즉 주관적 보유신뢰성 함수식 $\Phi_{\beta_X}(t)$ 를 주관적 신뢰성 손실함수의 기울기와 부식율에 의한 곡선식의 매개변수로 나타내면 식(3.19a)와 같다. 이 때, 식(3.19a)의 k 에 필요한 신뢰성 손실함수 β_{α} 는 식(3.19b)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_{\beta_X}(t) = 1 - kt^{\alpha} \quad (3.19a)$$

$$\beta_{\alpha} = [\beta_{X_t} - \beta_X(t)] / \beta_{X_t} \quad (3.19b)$$

여기서, k 는 주관적 신뢰성손실함수의 기울기이며 α 는 곡선식의 매개변수이다.

본 연구에서는 식(3.18)을 항만구조물 부재요소에 대한 점검시점의 상태평가 결과를 이용한 객관적 신뢰성 해석에 전문가의 주관이나 자연언어를 사용한 주관적 신뢰성 해석을 도입하였다. 이에 대한 주관적 신뢰성감소함수 식(3.20)과 같이 표현된다.

$$\Phi_{\beta_X}(t) = \beta_X(t) / \beta_{X_t} = 1 - [(1 - \beta_{X_{fer}}) / t_0^{\alpha}] \cdot t^{\alpha} \quad (3.20a)$$

$$k = (1 - \beta_{X_{fer}}) / t_0^{\alpha} \quad (3.20b)$$

여기서, $\beta_{X_{fer}}$ 은 점검시점의 주관적 보유신뢰성함수이며, t_0 는 점검시점이다.

3.2.4 항만구조물의 퍼지결함수 분석기법

퍼지적인 신뢰성 해석을 위해서는 항만구조물 구조시스템의 여러 손상요소와 시나리오를 규명하고 의사결정 모델링을 통한 분석이 반드시 필요하게 되는데, 이 때 가장 널리 이용되는 기법으로는 퍼지결함수 분석(FFTA)이 있으며 퍼지결함수 분석기법은 전형적인 연역적 체계의 분석방법으로서 항만구조물 구조시스템의 파괴의 원인이 되는 파괴모드에 대한 분석을 위한 것이다

퍼지결함수 분석기법은 최상의 사건과 이 사건을 뒤따르는 원인이 되는 기본원인들 사이의 논리적인 상호 연관성을 도해적인 표현으로 나타내는 하나의 모델링 기법이며, 주요 파괴사건을 이끌어내는 여러 가지 결함 또는 파괴사건들의 발생확률 또는 파괴확률에 대한 정량적인 평가를 포함한다.

본 연구에서는 취급하고자 하는 항만구조물 구조시스템과 같이 주부재와 연결부재 요소들이 서로 복합적으로 작용하는 상태에서 외부하중에 대해 항만구조물 구조시스템의 신뢰성평가를 정확히 해석하기 위해 항만구조물의 구조시스템 모형을 직렬과 병렬 시스템을 병행한 조합시스템으로 가정하여 해석하였다.

수치정보에 의한 해석방법은 신뢰성 해석이론을 이용한 정량적이고 객관적인 정보를 이용한 방법으로서 퍼지집합의 기본연산인 논리합과 격렬합을 사용하면 직렬체계의 손상 항만구조물 부재요소에 대응하는 파괴가능성의 주관적 신뢰성감지함수 X_0 는 식(3.21)과 같이 정의된다.

$$\text{논리합} : X_0 = G(X_{01}, X_{02}) = \frac{1}{1 + (\log(1/P_f))^3} \quad (3.21a)$$

$$\text{격렬합} : X_0 = G(X_{01}, X_{02}) = \frac{[(X_{01}/(1-X_{01}))^3 + (X_{02}/(1-X_{02}))^3]^{1/3}}{1 + [(X_{01}/(1-X_{01}))^3 + (X_{02}/(1-X_{02}))^3]^{1/3}} \quad (3.21b)$$

여기서, $P_f = P_A + P_B - P_A \times P_B$, 단, P_f 는 논리합 연산의 전체 사후 파괴확률이고, X_{01} 은 직렬체계 1의 파괴가능성에 대한 주관적 신뢰성 감지함수, X_{02} 는 직렬체계 2의 파괴가능성에 대한 주관적 신뢰성 감지함수이다.

한편, 병렬체계의 퍼지신뢰성 평가에서는 퍼지집합의 기본연산에서 논리곱과 격렬곱을 사용하게 되는데, 병렬체계의 손상 항만구조물 부재요소에 대응하는 정량적 정보에 의한 X_0 는 식(3.22)와 같이 정의된다.

$$\text{논리곱: } X_0 = H(X_{01}, X_{02}) = \frac{1}{1 + (k \times \log(1/p_f))^3} \quad (3.22a)$$

$$\text{격렬곱: } X_0 = H(X_{01}, X_{02}) = \frac{1}{1 + [(1 - X_{01})/X_{01}]^{1/3} + [(1 - X_{02})/X_{02}]^{1/3}]^3} \quad (3.22b)$$

여기서, $P_f = P_{A1} \times P_{A2}$, 단, P_f 는 논리곱 연산의 전체 사후 파괴 확률이고, X_{01} 은 병렬 체계 1의 파괴가능성에 대한 주관적 신뢰성 감지함수, X_{02} 는 병렬체계 2의 파괴가능성에 대한 주관적 신뢰성 감지함수이다.

언어정보에 의한 해석방법은 파괴가능성에 의한 퍼지신뢰성 해석을 이용한 정성적이고 주관적인 정보를 이용한 방법으로서 항만구조물 구조시스템을 구성하고 있는 항만구조물 부재요소의 손상요인 등이 주로 언어변량으로 표현되고 전문가의 주관에 기인되기 때문에 언어정보에 의한 퍼지신뢰성 해석이 검토되어야 한다.

따라서 직렬체계의 퍼지신뢰성 해석인 경우에는 식(3.22)의 수치 파라미터를 파라미터 c 로 치환하면, 퍼지집합의 연산에 대한 파괴가능성의 전체 주관적 신뢰성 감지함수 X_0 은 각각 식(3.23)과 같이 정의된다.

$$\text{논리합: } X_0 = G(X_{01}, X_{02}) = \frac{1}{1 + (k \times \log(1/p_f))^c} \quad (3.23a)$$

$$\text{격렬합: } X_0 = G(X_{01}, X_{02}) = \frac{[(X_{01}/(1 - X_{01}))^c + (X_{02}/(1 - X_{02}))^c]^{1/c}}{1 + [(X_{01}/(1 - X_{01}))^c + (X_{02}/(1 - X_{02}))^c]^{1/c}} \quad (3.23b)$$

식(3.23)의 파라미터 c 는 평가자의 주관에 따라 다르게 되며, 본 연구에서는 수치적 정보에서 $c=3.0$, 낙관적 정보에서 $c=2.5$, 평균적 정보에서 $c=1.3$, 보수적 정보에서 $c=0.85$ 로 선택하였다. 한편, 병렬체계의 퍼지신뢰성 해석인 경우에는 식(3.24)와 같이 정의되며, 식(3.24)의 파라미터 n 은 평가자의 주관에 따라 다르게 된다.

$$\text{논리곱: } X_0 = H(X_{01}, X_{02}) = \frac{1}{1 + (k \times \log(1/p_f))^n} \quad (3.24a)$$

$$\text{격렬곱: } X_0 = H(X_{01}, X_{02}) = \frac{1}{1 + [(1 - X_{01})/X_{01}]^{1/n} + [(1 - X_{02})/X_{02}]^{1/n}]^n} \quad (3.24b)$$

3.2.5 퍼지신뢰성에 의한 항만구조물의 상태평가 기준

지금까지 수행된 항만구조물의 신뢰성 평가에서 실시한 외관조사의 상태평가 기준은 실제적으로 항만구조물 구조시스템의 내하력 평가시나 내구성 및 기능성을 판별하는데 적용되지 않고 유지관리를 위한 외관망도의 작성 또는 보수·보강의 근거로 사용되고 있는 경우가 대부분이다.

따라서 외관조사의 결과로부터 항만구조물의 노후등급을 산정하는 방법을 퍼지논리로 구체화하여 이러한 외관조사 결과를 실제 내하력 산정시 반영하는 방안의 일환으로 퍼지이론에 의한 상태등급 평가기준을 나타내면 표 3.4와 같이 된다.

표 3.4와 같이 상태등급 평가기준은 퍼지신뢰성 지수($\beta_F(t_0)$) 및 열화성능함수($\Psi_{\beta_x}(t)$)의 값에 따라 A등급에서 E등급으로 구분하였으며, 각 등급에 따른 유지관리 대책을 나타내었다(안 2006).

표 3.4 퍼지신뢰성에 의한 상태등급의 평가기준 및 유지관리 대책

상태등급	판정구분	상태등급 평가기준 및 유지관리 대책		
		$\beta_F(t_0)$	$\Psi_{\beta_x}(t)$	유지관리대책
A	매우우수	$\beta_F(t_0) > 3.0$	$\Psi_{\beta_x}(t) > 1.00$	보수 불필요
B	우수	$2.5 < \beta_F(t_0) \leq 3.0$	$0.80 < \Psi_{\beta_x}(t) \leq 1.00$	일상적 유지관리
C	양호	$2.0 < \beta_F(t_0) \leq 2.5$	$0.65 < \Psi_{\beta_x}(t) \leq 0.80$	예방 보수 또는 적정보수
D	적합	$1.5 < \beta_F(t_0) \leq 2.0$	$0.50 < \Psi_{\beta_x}(t) \leq 0.65$	보강 필요
E	부적합	$\beta_F(t_0) \leq 1.5$	$\Psi_{\beta_x}(t) \leq 0.50$	교체
$\beta_F(t_0)$ 및 $\Psi_{\beta_x}(t)$ 는 X_0 로 계산함				

3.3 항만구조물의 VE/LCC 분석모델

3.3.1 정성적 평가기법

현행 건설교통부에서 제정한 항만구조물 유지관리 지침에 의하면 시설물별 상태등급을 산정할 때 공용수명기간 중에 발생하는 손상과 열화조건에 따른 구조적·물리적 열화성능 및 불확실량은 전혀 고려하지 않고 진단평가자의 주관적 판단에 의존할 뿐 실질적인 구조적 열화성능 평가는 이루어지지 못하고 있다.

이러한 평가방법은 정성적인 평가에 머물고 있어 항만구조물의 보수보강의 우선순위 결정을 위한 설계 VE의 객관적 의사결정을 저해한다.

이와 같은 측면을 극복하기 위하여 본 연구에서는 항만구조물의 열화부식의 역학적 특성에 의한 객관적 신뢰성지수와 파괴가능성을 도입한 주관적 신뢰성지수를 동시에 고려한 열화성능함수로 나타내었으며, 퍼지신뢰성 해석에 의한 시간의존적 신뢰성 해석모델은 식(3.25)와 같이 된다.

$$\Psi_{\beta_x}(t) = \beta_{x_0} / \beta_x(t) = 1 - kt^a \quad (3.25a)$$

$$k = (1 - \beta_{f_c}) / t_0^a \quad (3.25b)$$

식(3.25)와 같이 평가자의 언어변수에 의한 주관적 열화성능함수를 이용하면, 객관적 신뢰성 해석 방법에 평가전문가의 언어적이고 정성적 주관, 즉 낙관적 평가와 중간적 평가 및 비관적 평가가 동시에 고려된 주관적 퍼지신뢰성 해석모델을 단계별로 요약하면 표 3.5와 같이 된다(안 2006).

표 3.5 열화성능을 고려한 퍼지신뢰성 해석모델

방법	해석단계	단계별 산정식
객관적 신뢰성 해석	단계 1	한계상태함수 설정 $g(\cdot) = R(t) - S(t)$
	단계 2	최적 신뢰성지수 산정(β_o) $\beta_o = -\alpha_s \Omega_s + \sqrt{(\alpha_s \Omega_s)^2 + 2 \ln \left(\frac{g(c_d) \sqrt{1 + \Omega_s^2}}{\sqrt{2\pi} k_c \alpha_s \Omega_s} \right)}$
	단계 3	열화에 의한 감소 객관적 신뢰성지수 산정($\Delta\beta$) $\Delta\beta = \frac{1}{\sqrt{(\sigma_{\ln S})^2 + (\sigma_{\ln R})^2}} \ln \frac{R_0}{R(t)}$
	단계 4	점검시점의 객관적 신뢰성지수 산정($\beta(t_o)$) $\beta(t_o) = \beta_o - \Delta\beta$
주관적 신뢰성 해석	단계 5	객관적 신뢰성지수를 주관적 신뢰성지수로 변환(X_o) $X_o = \frac{1}{1 + (k \log(1/P_f))^c}$
	단계 6	퍼지적 열화성능 평가($\Psi_{\beta_x}(t)$) $\Psi_{\beta_x}(t) = \beta_{X_o} / \beta_{X(t)} = 1 - kt^a$
	단계 7	열화에 의한 주관적 신뢰성지수 산정($\Delta\beta_F$) $\Delta\beta_F = \frac{1}{\sqrt{(\sigma_{\ln S})^2 + (\sigma_{\ln R})^2}} \ln \left(\frac{1}{\Psi_{\beta_x}(t)} \right)$
	단계 8	점검시점의 주관적 신뢰성지수 산정($\beta_F(t_o)$) $\beta_F(t_o) = \beta_o - \Delta\beta_F$
β_o 는 총 기대비용 최소화 신뢰성 해석방법 중에서 Kanda의 방법을 사용함		

3.3.2 정량적 평가기법

퍼지신뢰성 해석에 의한 항만구조물의 열화성능 평가와 유지관리 조치 수준별 상대 LCC 지수를 이용한 시간의존적 LCC 분석모델은 표 3.6과 같다.

표 3.6 시간의존적 LCC 분석모델

사후 유지관리	예방 유지관리	공용년수
$\alpha(d) = C_o - a_c t^2$	$\alpha(d) = C_o - a_c t^2$	$0 \leq t < t_i$
$\alpha(d) = C_o - a_c (t - t_i)^2$	$\alpha(d) = C_o - a_c (t - t_i)^2$	$t_i \leq t < t_o$
$\alpha(d) = C_o - a_c (t - \Delta t_f)^2$	$\alpha(d) = C_o + C_r - a_c (t - \Delta t_f)^2$	$t_o \leq t < t_f$
$\alpha(d) = C_o - a_c (t - \Delta t_s)^2$	$\alpha(d) = C_o + C_r - a_c (t - \Delta t_s)^2$	$t_f \leq t < t_s$
$\alpha(d) = C_o - a_c (t - \Delta t_d)^2$	$\alpha(d) = C_o + C_r - a_c (t - \Delta t_d)^2$	$t_s \leq t < t_d$

여기서, t 는 공용년수이고, t_o 는 점검시점이며, t_i 는 열화발생 시점이다. 그리고 t_f 는 1차 유지관리 시점이며, t_s 는 2차 유지관리 시점, t_d 는 3차 유지관리 시점을 나타내며, Δt_f 는 1차 유지관리 시기이며, Δt_s 는 2차 유지관리 시기, Δt_d 는 3차 유지관리 시기이다.

항만구조물의 열화성능평가와 유지관리 조치 수준별 설계 VE시의 상대가치지수를 이용하여 생애주기 동안의 시간의존적 자산가치 분석모델을 나타내면 표 3.7과 같다.

표 3.7 시간의존적 자산가치 분석모델

사후 유지관리	예방 유지관리	공용년수
$V_e(d) = V_{eo} - a_{V_e} t^2$	$V_e(d) = V_{eo} - a_{V_e} t^2$	$0 \leq t < t_i$
$V_e(d) = V_{eo} - a_{V_e} (t - t_i)^2$	$V_e(d) = V_{eo} - a_{V_e} (t - t_i)^2$	$t_i \leq t < t_o$
$V_e(d) = V_{eo} - a_{V_e} (t - \Delta t_f)^2$	$V_e(d) = V_{eo} + V_r - a_{V_e} (t - \Delta t_f)^2$	$t_o \leq t < t_f$
$V_e(d) = V_{eo} - a_{V_e} (t - \Delta t_s)^2$	$V_e(d) = V_{eo} + V_r - a_{V_e} (t - \Delta t_s)^2$	$t_f \leq t < t_s$
$V_e(d) = V_{eo} - a_{V_e} (t - \Delta t_d)^2$	$V_e(d) = V_{eo} + V_r - a_{V_e} (t - \Delta t_d)^2$	$t_s \leq t < t_d$

항만구조물의 현재 상태 및 미래상태의 유지관리 전략을 결정하기 위한 경제성 분석을 실시하는 것을 목표로 하므로 항만구조물의 현재 상태에 따른 미래조치 여부가 보다 용이한 구조성능함수에 기초한 신뢰성지수 프로파일을 적용하였다. 신뢰성 프로파일을 적용한 유지관리 전략에는 사후 유지관리 조치와 예방 유지관리 조치로 구분된다. 즉, 대대적인 보수 보강 및 교체를 하는 주요 구조부재는 사후 유지관리 조치를 취하고, 경미한 보수나 수선 등을 요하는 부속 구조부재는 예방 유지관리 조치를 취하는 시나리오로 항만구조물의 구조부재에 맞는 유지관리 전략을 세우고 있다.

본 연구에서 항만구조물에 대한 1번의 생애주기에서 4번의 보수·보강조치를 취하는 유지관리 전략을 기본으로 하여 항만구조물 부재요소의 외관 상태등급과 구조성능지수에 의해 산정한 신뢰성지수를 이용하면 생애주기 프로파일의 추정식은 표 3.8과 같다.

표 3.8 시간의존적 생애주기 프로파일 추정식

사후 유지관리	예방 유지관리	공용년수
$\beta(t) = \beta_o - \alpha_\beta t^2$	$\beta(t) = \beta_o - \alpha_\beta t^2$	$0 \leq t < t_i$
$\beta(t) = \beta_o - \alpha_\beta (t - t_i)^2$	$\beta(t) = \beta(t_i) - \alpha_\beta (t - t_i)^2$	$t_i \leq t < t_o$
$\beta(t) = \beta_o - \alpha_\beta (t - \Delta t_f)^2$	$\beta(t) = \beta(t_o) + \gamma - \alpha_\beta (t - \Delta t_f)^2$	$t_o \leq t < t_f$
$\beta(t) = \beta_o - \alpha_\beta (t - \Delta t_s)^2$	$\beta(t) = \beta(t_f) + \gamma - \alpha_\beta (t - \Delta t_s)^2$	$t_f \leq t < t_s$
$\beta(t) = \beta_o - \alpha_\beta (t - \Delta t_d)^2$	$\beta(t) = \beta(t_s) + \gamma - \alpha_\beta (t - \Delta t_d)^2$	$t_s \leq t < t_d$

여기서, β_{pf} 는 성능지수이며, β_d 는 평가시점의 신뢰성지수를 나타내며, β_o 는 설계시점의 신뢰성지수를, α_β 는 점검시점의 신뢰성 열화율을 의미한다. 그리고, t_1 , t_{f1} , t_{s1} 는 상수이며, γ 는 구조신뢰성지수의 증가분이고, β_{y1} 는 보강후의 신뢰성 향상지수이며, $\Delta\beta_{pf}$ 는 신뢰성지수 증가분이다.

또한, 여기서, $\beta_{pf} = \beta_d / \beta_o$, $\alpha_\beta = (1 - \beta_{pf}) / t_o^2$, $t_f = t_o + \Delta t$, $t_s = t_o + 2\Delta t$, $t_d = t_o + 3\Delta t$, $\Delta t = t_o - t_1$, $\Delta t_f = t_o + \Delta t - t_{f1}$, $\Delta t_s = t_o + 2\Delta t - t_{s1}$, $\beta_{y1} = \beta_{pf} + \Delta\beta_{pf}$ 로 산정된다.

보강 조치 후의 신뢰성 향상지수는 유지관리 조치수준에 따라 달라지는데, 예방 유지관리 조

치수준인 경우는 β_{y1} 는 $\beta_{pf} + \Delta\beta_{pf}$ 이며, 사후 유지관리 조치수준에서는 β_{y1} 는 β_0 이다.

지금까지는 항만구조물에 관련한 LCC 분석시의 비용분류체계에 대한 기준이 없이 관련 전문가들 사이에서 다양하게 적용되어 오고 있는 실정이라 LCC 분석의 일관성을 위해서는 비용분류체계에 대한 기준이 필요한 것으로 판단된다. 항만구조물의 구성요소별 비용분류체계는 데이터의 현실성과도 밀접한 관계가 있으므로 실용적인 활용을 전제로 하여 구성요소별 비용함수 모델이 정립되어야 한다.

기대 생애주기 동안의 비용분류항목은 신설 항만구조물의 건설비용이나 기존 항만구조물의 현 시점에서의 유지관리비용인 보수비용, 보강비용, 교체비용 등과 같은 초기비용, 향후 유지관리를 위한 기대 유지관리비용, 유지관리행위 동안의 항만구조물이 본래의 기능을 발휘하지 못함으로써 발생할 수 있는 간접손실비용인 파괴손실비용, 사회경제손실비용과 해체폐기비용 등 모든 범위의 비용을 포함한다. 이러한 기대비용들은 현재가치나 연간가치와 같은 등가가치로 변환하는 과정을 통해 비용 효율적인 의사결정이 가능하게 된다. 표 3.9는 생애주기 동안의 주요 비용분류항목을 나타내었다.

표 3.9 생애주기 동안의 항만구조물에 대한 비용분류항목

1. 직접손실비용	
1.1 초기투자비용	계획, 설계, 건설 및 감리비용
1.2 유지관리비용	관리, 점검, 진단 및 유지보수비용
1.3 교체비용	사석제 교체비용
2. 간접손실비용	
2.1 파괴손실비용	초기투자비용의 τ 배로 산정
2.2 사회경제손실비용	해당지역의 유무형적 가치하락

항만구조물의 유지관리를 위한 LCC 분석 및 절차는 여러 가지 방법이 있는데, 본 연구에서는 직접 손실비용과 간접 손실비용으로 구성하여 유지관리조치 횟수에 따라 LCC를 정식화하고, 시간가치를 고려한 퍼지신뢰성에 의한 생애주기비용 분석의 누적경제성 분석 모델을 사용하면 식(3.26)과 같다.

$$LCC = C_I + C_{INS} + C_{REP} + C_{OPP} + C_{RISK}$$

$$= C_I + \left(\sum_{t=a_1}^A n_t \cdot C_{ins} + \sum_{t=b_1}^B n_t \cdot C_{rep} + \sum_{t=b_1}^B n_t \cdot C_{opp} + \sum_{t=b_1}^B n_t \cdot C_{risk} \right) \quad (3.26a)$$

$$n_t = \frac{1}{(1+k)^t} \quad (3.26b)$$

$$C_M = C_{INS} + C_{REP} + C_{OPP} \quad (3.26c)$$

$$C_F = C_{RISK} = C_f \cdot P_f \quad (3.26d)$$

여기서, LCC는 생애주기비용, C_I 는 초기건설비용, C_M 은 유지관리비용, C_W 는 산업 폐기물처리비용, C_F 는 파괴손실비용, C_{INS} 는 점검에 관한 비용, C_{REP} 는 보수에 관한 비용이다. 그리고, C_{OPP} 는 기회손실비용, C_{RISK} 는 위험도비용, C_f 는 파괴에 의해 생기는 최대손실비용, P_f 는 파괴확률, C_{ins} 는 점검비용의 단가, C_{rep} 는 보수비용의 단가, C_{opp} 는 기회손실비용의 단가, C_{risk} 는 위험도 비용의 단가, t 는 공용년수 a_1, \dots, A 는 점검년수, b_1, \dots, B 는 보수년수, k 는 실제 이자율이다.

대안별 성과측정이란 투자대비 회수배율로서 대안별 사업시행 전·후의 LCC 차이를 초기투자비용으로 나눠준 것을 의미한다. 특히 항만구조물을 신설할 경우에는 회수배율1안이 되며, 항만구조물을 보수 및 교체할 경우에는 회수배율 2안이 된다. 본 연구에서는 전절에서 제시한 대안별 LCC 예측 값을 상호 비교하여 성과측정 및 경제성평가를 하고자 하며, 표 3.10은 성과측정 및 경제성 평가를 나타내고 있다.

표 3.10 성과측정 및 경제성평가

구 분	산 출 식
대안별 LCC차(DLCC)	$DLCC = LCC_{max} - LCC_{alt}$
회수배율1안(HA)	$HA = DLCC / CO_{alt}$
회수배율2안(HR)	$HR = DLCC / (CO_{max} - CO_{alt})$
경제성 평가(ECI)	$ECI = 100(\%) - \frac{LCC_{alt}}{LCC_{max}} \times 100$
주) CO_{alt} =대안별 초기투자비용, CO_{max} =대안의 최대 값	

3.3.3 폐지신뢰성 평가기법

항만구조물과 같은 공공사업의 인프라 시설물은 시간의 경과에 따른 열화환경 때문에 구조성능이 저하하여 이에 따른 보수·보강 및 교체가 필수적이므로, 본 연구에서는 대안 선정 시 열화성능에 따른 생애주기 동안의 유지관리 조치공법과 조치시기를 고려한 통합 VE 분석기법을 다루고 있으며, 본 연구에서 개발한 구조물의 열화성능을 고려한 통합 VE 분석·평가모델과 기존의 VE 분석방법을 비교하여 표 3.11~3.12에 나타내었다.

표 3.11 폐지론적 통합 VE 분석방법

구 분		폐지론적 방법에 의한 통합 VE 분석
목 적		LCC와 열화성능을 고려한 최상의 자산가치 추구
평가기준		기능성·경제성 및 열화성능
평가절차	대상선정	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 0 auto;">분석대상 선정</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 0 auto;">대안 도출</div> </div>
	분석·평가	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 0 auto;">기능성 평가</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 0 auto;">열화성능 평가</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 0 auto;">열화환경 최소화 가치지수 산정</div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 0 auto;">열화성능 통합 가치지수 산정</div> </div>
	최적안 선정	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; margin: 0 auto;">열화성능+경제성을 통합한 최적안 산정</div> </div>
주요방법론 및 평가항목		<p>* LAV : 시설물의 생애주기 동안에 걸친 자산가치(LAV)를 정량화하여 열화환경에 미치는 열화성능의 영향을 평가하고, 열화성능에 맞는 유지관리 공법을 선정하는 자산가치 평가방법</p> <p>* 유지관리 조치에 따른 보수·보강공법 비용과 구조물의 열화환경 및 성능분석 → 생애자산관리</p>

표 3.12 기존 확정론적 VE 분석방법

구 분		확정론적 방법에 의한 기존 VE 분석
목 적		최저 생애주기비용으로 최상의 가치추구
평가기준		기능성과 경제성
평가 절차	대상 선정	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">분석대상 선정</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">대안 도출</div> </div>
	분석 평가	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">기능성 평가</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;">경제성 평가</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">비용 최소화 가치지수 산정</div> </div>
	최적안 선정	<div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">경제성 최적안 선정</div> </div>
주요 방법론 및 평가항목		<p>* LCC : 시설물의 경제적 수명 전반에 걸쳐 발생하는 제 비용의 합, 즉 총 비용을 일정한 시점으로 등가환산한 가치로써 경제성을 평가하는 방법</p>
		<p>* 초기공사비용, 유지관리비용 → 생애주기비용</p>

기존의 일반적인 설계 VE 프로세스는 가치평가를 위한 평가지표가 일원화되지 못하여 분석수행자에 따라 분석결과 지표의 상이성을 나타내고 있다. 따라서 가치평가 절차에서의 일관성 및 효율성을 확보하기 위해서는 열화성능 평가를 고려한 모델이 필요하며, 이에 따른 퍼지신뢰성 해석에 의한 설계시점의 통합 가치분석을 위한 평가지표는 표 3.13과 같다.

표 3.13 통합 가치분석을 위한 평가지표

구 분	산 출 식
성능점수 (QPI)	$QPI = \sum(DR \times RI)$
상대성능지수 (FI)	$FI = FI_{alt} / FI_{min}$
기능향상지수 (FII)	$FII = (FI_{alt} - FI_{min}) / FI_{min}$
상태지수 (SA)	$SA = \psi \cdot X_m - ((X - X_n) / (X_m - X_n)) \cdot D$
상태상태지수 (SI)	$SI = SI_{alt} / SI_{max}$
상태향상지수 (SII)	$SII = (SI_{max} - SI_{alt}) / SI_{max}$
열화성능지수 (FI)	$FI = BM_{alt} / BM_o$
상대성능지수 (SPI)	$SPI = SPI_{alt} / SPI_{min}$
성능향상지수 ($SPII$)	$SPII = (SPI_{alt} - SPI_{min}) / SPI_{min}$
상대LCC 지수 (CI)	$CI = CI_{alt} / CI_{min}$
비용절감지수 (CII)	$CII = (LCC_{max} - LCC_{alt}) / LCC_{max}$
가치지수 (VA)	$VA = FI / LI$
상대가치지수 (VI)	$VI = SPI / CI$
가치향상지수 (VII)	$VII = (VI_{alt} - VI_{min}) / VI_{min}$
<p>주) alt는 대안, min는 대안의 최소 값, max는 대안의 최대 값 DR는 품질모델 가중치, RI는 성능등급, QPI과 X는 대안별 성능점수 QPI_{max}와 X_m는 최대성능점수, QPI_{min}과 X_n는 최소성능점수</p>	

제4장 항만구조물의 VE/LCC 적용 및 분석

4.1 VE/LCC 프로그램 및 적용기준

4.1.1 항만구조물의 VE/LCC 분석 프로그램

본 연구에서는 항만구조물인 방파제와 안벽 및 호안의 VE/LCC 분석을 수행하기 위하여 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석모델을 MATLAB(Matrix Laboratory) 프로그램에서 구현되도록 Calculation of Life Cycle cost and Value Engineering Analysis Program의 첫 글자를 참고로 하여 CALIFE을 개발하였다. MATRAB용 VE/LCC 분석 프로그램은 각종 성능평가항목에 대한 비교대안의 LCC 분석을 수행함으로써 열화 성능에 대한 대안별 가치분석을 비교할 수 있으며 미래의 유지관리수준까지의 열화성능곡선을 퍼지신뢰성 해석에 기초하여 제시할 수 있다. 또한 항만구조물별로 LCC 분석을 수행하여 잔존수명 동안의 LCC 비용에 근거하여 통합 가치분석을 통한 최적대안의 선정 시에 의사결정의 지원도구로서 사용될 수 있다.

본 연구에서 개발한 항만 VE/LCC 분석 프로그램인 CALIFE는 항만구조물의 가치공학 및 생애주기비용 분석의 효율적인 의사결정을 지원하기 위해 개발된 것으로, 계획 및 설계단계는 물론 유지관리 전략단계에서 사업의 타당성 검토와 미래의 유지관리에 따른 항만구조물의 대안 선정 시에 활용된다. 개발된 CALIFE 프로그램을 이용하여 처리할 수 있는 기능 및 기대효과와 활용방안은 다음과 같다.

첫째 항만구조물의 계획 및 설계시 성능평가항목을 선정하여 대안별 설계의 타당성을 검토하거나, 최적설계 VE를 수행하기 위한 기본 데이터로 활용이 가능하다.

둘째 AHP 기법에 의해 가중치를 산정하고 열화성능함수에 따른 퍼지신뢰성을 평가하여 대안별 유지관리 전략분석을 제시한다.

셋째 최적대안 선정 시에 잔존수명 동안의 LCC에 근거한 통합 가치분석의 의사결정 지원도구로서의 기능을 수행할 수 있다.

넷째 최적대안에 대한 잔존수명 동안의 VE/LCC 분석을 통한 보수·보강공법의 의사결정 지원도구로서의 기능을 수행할 수 있다.

본 연구에서 개발한 MATRAB용 CALIFE 프로그램은 사용자가 항만구조물의 VE/LCC 분석을 위한 입·출력 데이터를 최대한 편리하게 통제할 수 있도록 구성하였으며, 그림 4.1은 CALIFE 프로그램 및 시스템의 흐름을 나타낸 것으로서, 초기 입력화면에서 VE/LCC 분석 및 결과의 저장을 흐름대로 표현한 것이다.

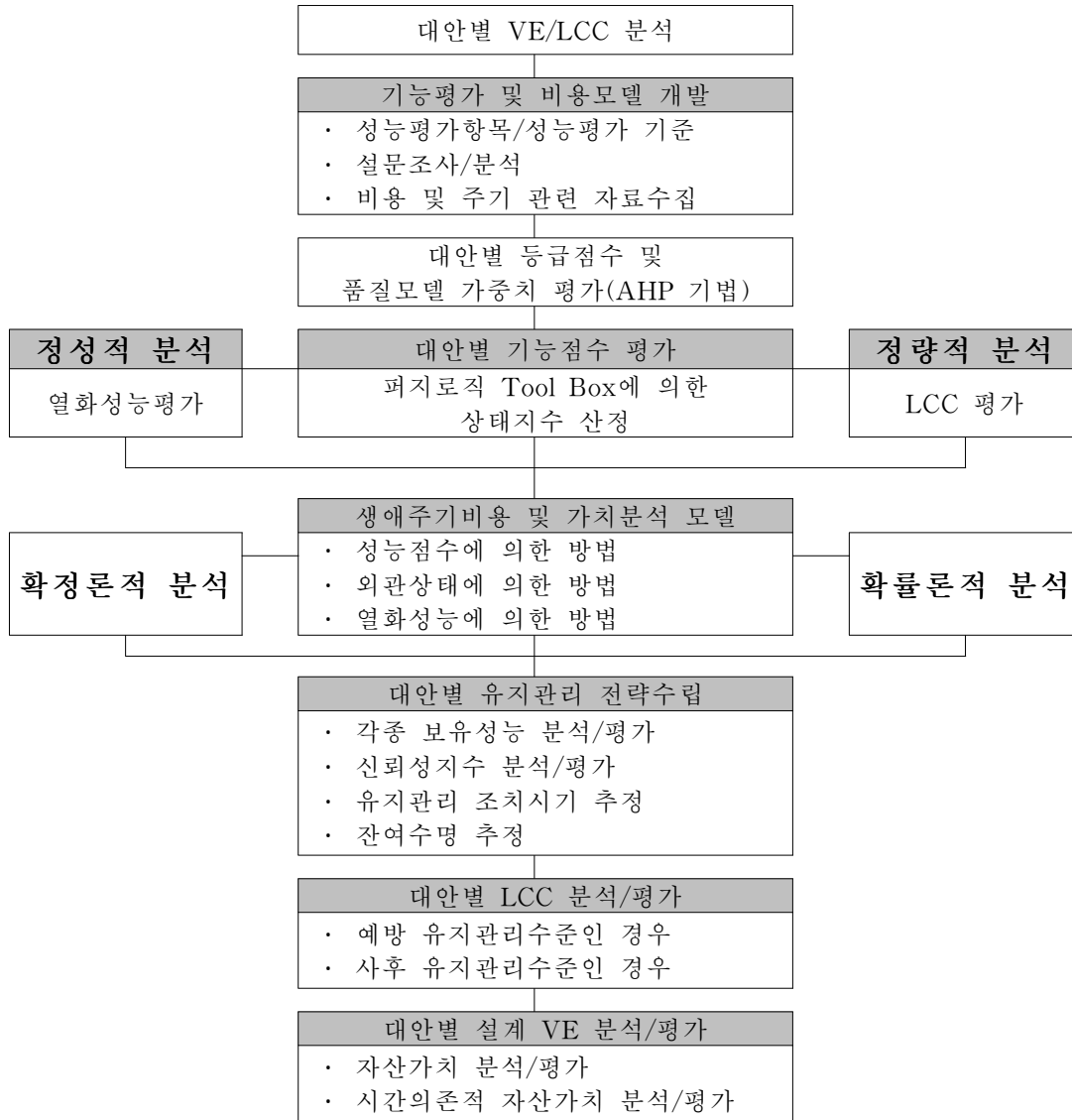


그림 4.1 항만구조물의 VE/LCC 분석 프로그램 흐름도

4.1.2 프로그램 사용법

초기화면은 그림 4.2와 같이 CALIFE 프로그램의 MATLAB Command Window는 MATLAB의 메인 창 역할을 하면서 사용자로부터 입력을 받아 연산을 수행한 후 다시 사용자가 볼 수 있는 형태로 출력하는 역할을 한다. Command Prompt 상태에서 직접 스크립트 M-File의 파일명 “CALIFE”를 입력하면 스크립트가 실행된다. 이때 사용자는 MATLAB Command Window의 Command Prompt에서 임의의 값을 입력하거나 MATLAB 명령어를 사용하거나 M-File들을 호출하여 원하는 작업을 하게 된다.

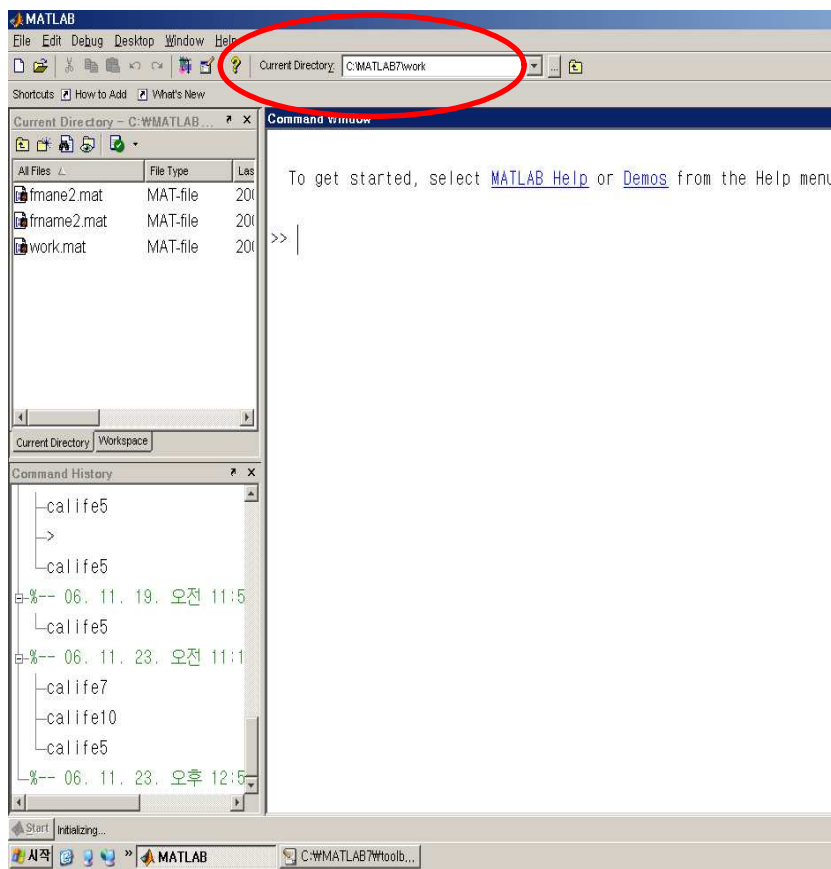


그림 4.2 초기화면

기본정보 입력은 그림 4.3과 같이 MATLAB용 CALIFE 프로그램의 기본정보 입력 화면을 보여 주고 있다. MATLAB Command Window의 File Menu에서 "Open"버튼을 클릭하여 CALIFE M-file을 클릭하면 기본정보 입력화면이 나타나며, 입력화면은 크게 열화성능 평가의 정성적 분석, LCC 평가의 정량적 분석 및 가치평가의 퍼지신뢰성 분석으로 구성되어 있다.

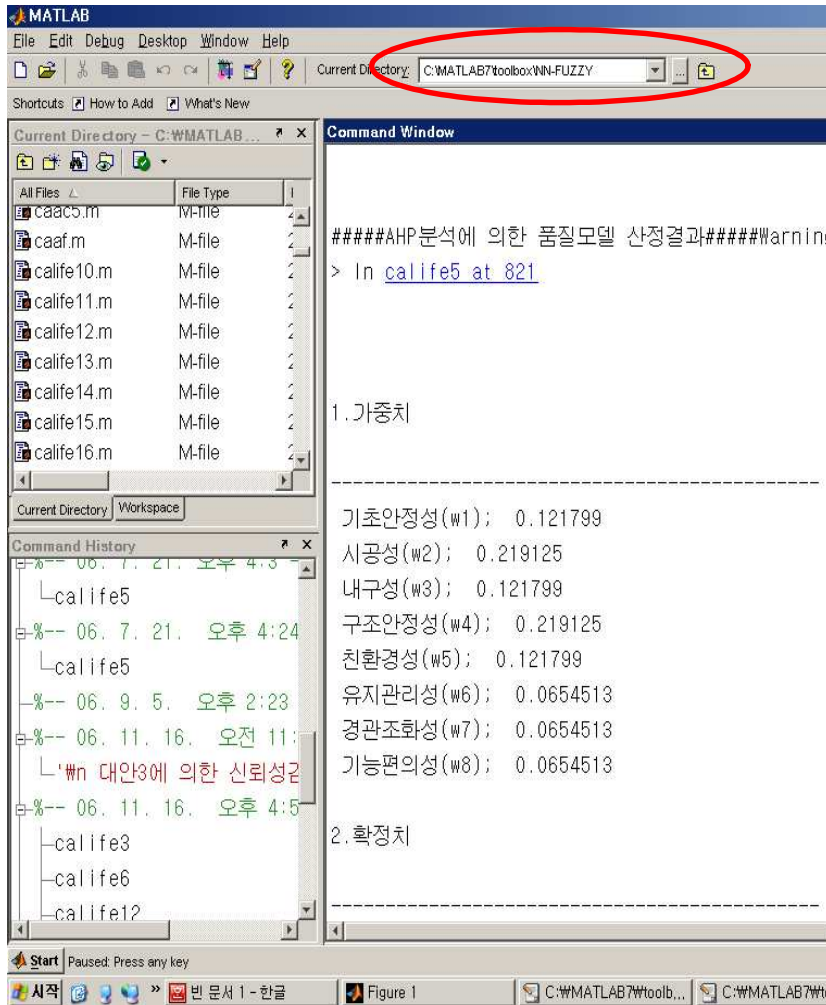


그림 4.3 기본정보 입력화면

또한 MATRAB용 CALIFE 프로그램에서 제공하는 VE/LCC 분석에서는 기존의 확정론적 방법에 의한 결과가 퍼지신뢰성에 따른 확률론적 방법의 결과와 동시에 출력되기 때문에 상호간의 비교분석이 가능하고 유지관리 수준별 열화성능곡선의 비교분석이 가능하다.

MATRAB용 CALIFE 프로그램의 구동에 따른 절차는 다음과 같다.

열화성능에 필요한 입력화면에 대안별 성능평가항목점수를 입력한다. 이 때 대안별 성능평가항목 점수에 의한 상태지수는 MATRAB에서 제공하는 Fuzzy Logic Toolbox로 자동 산정된다.

LCC 분석에 필요한 입력화면에 비교 대안별 직접 손실비용인 초기투자비용, 유지관리비용, 교체비용 및 간접손실비용인 도로사용자 비용 및 간접 지역경제 손실비용을 입력한다.

일반 신뢰성 및 퍼지신뢰성 해석에 필요한 불확실량, 즉 저항에 대한 평균 및 변동계수 그리고 하중에 대한 평균 및 변동계수를 입력한다.

할인율은 생애주기 동안 발생하는 비용을 등가의 현재가치로 환산하기 위한 계수로서 4.5%가 기본 값으로 입력되어 있으며 필요시 변경하여 사용하면 된다.

이와 같은 모든 입력 작업이 완료되면 그림 4.3의 MATLAB Command Window의 File Menu에서 "Save"버튼을 클릭하고 다시 MATLAB Command Window의 Command Prompt에서 "CALIFE" M-file을 클릭하여 다음 입력 작업을 수행한다.

대안별 정보출력에 있어서 사용자는 MATLAB Command Window의 Command Prompt에서 "CALIFE" M-file을 입력한 후에 Enter를 치면 본 연구의 4장 및 5장의 적용에 따른 결과 및 분석표와 같은 그림이 출력된다.

4.1.3 VE/LCC 분석방향

제 3장에서 기술한 퍼지신뢰성 이론에 의한 VE/LCC 분석모델은 구조물의 열화성능을 고려한 객관적 신뢰성 해석에 평가자의 주관이나 과거경험에 기초한 주관적 신뢰성 해석을 동시에 반영한 가치 및 경제성 분석에 대한 방법론으로서 항만구조물의 건설공사에서 합리적인 투자 의사 결정과 설계대안 선택을 위한 도구로서 활용될 수 있다.

본 장에서는 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석모델의 실무 활용성과 분석결과에 신뢰도를 향상시키기 위한 측면에서 실제 대상사업에 적용하여 정량적 평가와 정성적 평가 및 퍼지신뢰성 해석을 수행하여 분석하고, 기존의 확정론적 분석기법과 퍼지론적 기법의 결과를 상호 비교 검토하였다.

이를 위해 항만구조물과 관련된 국내외의 VE/LCC 관련 문헌조사와 자료분석을 선행하였고, 실제로 설계 및 시공에 적용한 주요 항만 등을 중심으로 VE/LCC 분석현황을 비교·검토하였다. 본 장에서 적용한 항만구조물의 VE/LCC 분석은 프로젝트의 계획으로부터 설계, 시공, 유지관리, 해체 및 폐기처리에 이르기까지의 전체 과정을 프로젝트의 생애주기로 보고 전체 공용년수 동안 발생하는 총비용을 산출하여 경제성을 평가하는 자료로 활용하였다.

VE/LCC 분석을 위한 LCC의 산정방법은 전술한 바와 같이 크게 확정론적 방법과 확률론적 방법으로 나눌 수 있으며, 조사된 자료의 대부분은 확정론적 방법에 따라 LCC를 산정하였고, 최근의 일부 자료에서는 신뢰성 해석에 기초한 확률론적 방법에 따라 LCC를 산정하고 있는 것으로 나타났다. 본 장에서 적용한 확률론적 방법 중 퍼지론적 방법은 확정론적 방법에서 사용한 통계적 데이터나 확정적 데이터의 애매성을 객관화시킴과 동시에 신뢰성 해석방법에 퍼지론적 기법을 접목한 퍼지신뢰성에 기초한 LCC 산정방법으로서 구조물의 열화성능을 고려한 확률적 불확실성을 포함하는 포괄적 분석을 수행할 수 있고, 가치분석에 필요한 정량적 또는 객관적으로 표현하기 어려운 정보를 객관화시킬 수 있는 특징을 가지고 있다.

대안의 구체화는 대안별 장단점의 비교, 초기투자비용, 유지관리비용, 해체 및 폐기비용 등이 있다. 대안별 장단점을 비교하여 평가항목에 대한 등급의 산정시 고려하며, 초기비용으로 시공에 대한 경제성을 고려한다. 또한 LCC 산정 시 초기건설비용 뿐만 아니라 유지관리비용인 관리자비용과 사용자비용도 함께 고려한다.

최적의 대안을 선정하기 위해서는 성능의 향상만을 고려하는 것이 아니고 LCC도 함께 고려하여 가치를 향상시켜야 한다. 이에 부합하기 위해서는 각 프로젝트에 맞는 평가항목의 선정이 중요하다. 본 연구에서는 방과제와 안벽 및 호안구조물별로 경제성, 기술성, 기능성 및 사회성 등을 고려하여 평가기준 항목을 각각 선정하였다.

평가항목에 대한 가중치를 선정하는 방법은 일반적으로 매트릭스 기법과 AHP 기법을 활용하고 있으며, 본 연구에서는 퍼지이론에 의한 AHP 기법을 활용하여 평가항목에 대한 가중치를 선정하였으며, 가중 평가치 판정기준은 표 4.1과 같이 10단계의 등급으로 구분하였다.

표 4.1 단계별 가중 평가치 판정기준

평가등급 : 각 등급은 10단계의 크기로 평가됨	
1	프로그램 요구사항과 맞지 않음.
2	중요한 단점.
3	추구하기에는 미지수가 너무 많음.
4	편익추구에 의심스러움.
5	비용 축소 / 기능적인 요구에서 약간의 손실.
6	대안 접근 / 가능한 설계 제안.
7	약간의 프로젝트 편익 예상됨 / 설계기준에 제안할 필요가 있음.
8	기술적으로 가능함 / 적은 비용과 다른 기능적인 개선.
9	기술적으로 가능함 / 프로젝트 개선 예상됨 / 약간의 비용과 다른 기능적인 개선.
10	기술적으로 가능함 / 대단히 큰 편익 예상됨 / 중요 비용과 중요 기능 개선.

최적안 선정기법의 목적은 경제적인 측면뿐만 아니라 시설의 전체적인 측면에서 종합적으로 판단하여 최종적으로 가장 적절한 대안을 선정하는데 목적이 있다. 또한 발주자와 사용자의 요구측정 정도와 가치향상 정도를 고려해야 하고, 성능적 측면과 LCC를 고려한 가치측면에서 우수한 최적의 설계안으로 선정함이 바람직하다.

4.1.4 VE/LCC 분석을 위한 적용기준

내구년수의 개념은 구조물의 주요 구성시스템이나 요소가 손상되거나 파손되어 더 이상 그 기능을 발휘하지 못하게 되는데 걸리는 시간을 의미하며, 구조물의 내구년수란 구조물의 수명으로 정해지며, 구조물의 수명에는 물리적 수명, 기능적 수명, 경제적 수명 등이 있으며, 구조물의 수명은 물리적 수명을 의미한다.

항만구조물의 내용년수는 항만구조물이 가지고 있는 고유한 특성으로 인하여 정확한 산정이 어려우나 일반적으로 중요하다고 판단되는 항만구조물의 경우 내용년수를 50년으로 적용하고 있다. 본 연구에서는 현재 국내·외에서 발간된 자료를 중심으로 항만구조물의 내용년수를 조사하여 LCC 분석에 이용하였고, 항만구조물의 내용년수와 관련된 자료는 표 4.2와 같이 국내의 경우 “항만편람”, 영국의 표준규격, 일본 국토종합개발 심의 위원회 등이 있는 것으로 파악되었다. 또한 본 연구에서는 LCC 분석대상인 방파제와 안벽 및 호안의 경우 내용년수를 현재의 기술수준과 중요도를 고려하여 50년으로 가정하여 수행하였다.

LCC 분석을 위한 유지관리비는 크게 관리자비용과 사용자비용으로 구분되며, 관리자비용은 공사완료 직후부터 구조물의 기능을 보전하기 위하여 정기·비정기적인 보수 및 보강 등의 유지관리 행위를 실시하여 상실된 기능을 원래의 수준으로 회복시키는데 소요되는 필요한 비용을 의미하며, 사용자비용은 시설물을 이용하는 사용자가 시설물의 기능을 제대로 이용하지 못하게 됨으로써 발생하는 비용을 의미하며, 도로교의 경우 교량의 보수·보강 작업 기간 동안에 시설물의 이용에 제한을 받게 됨에 따라서 발생하는 차량운행비용, 운행지연비용, 교통사고 발생비용 등이 사용자비용의 대표적인 경우이다.

본 연구의 LCC 분석에 있어 유지보수비를 적용하기 위한 기초 자료로서 30개 시설물에 대한 평균 유지보수율인 1.35%를 적용하였고, 설계비는 기본설계비 효율과 실시설계비 효율을 합산하여 총공사비 대비 3.48%를 적용하였으며, 감리비용은 1.4%를 적용하였다. 또한 실질 할인율은 국내의 LCC 분석 시 가장 많이 사용하는 통계청 자료인 4.5%를 적용하였다.

표 4.2 항만구조물의 내용년수

구 분		구 조 물		내용년수
국내	항만편람 (1997.9, 5413)	방파제		50
		안벽	콘크리트	40
			강재	25
국외	영국표준규격 (BS 6349) (Part 1. Clause 16)	안벽		60
		Open Jetty		45
		Superstructure Works		30
		방파제 및 호안		60
		방조제		100
	일본국토종합개발 심의위원회(안)	방파제	직립제	50
			사석제	30
		안 벽	중요 항만 콘크리트	50
			지방 항만	60
			강널말뚝	35
		간 교	중요 항만 콘크리트	50
			지방 항만	60
			목조	7
		물양장		50
		호안		35
		박 지	표사와 하천유입이 없는 경우	100
			표사와 하천유입이 있는 경우	40
		항 로	표사와 하천유입이 없는 경우	100
			표사와 하천유입이 있는 경우	30
		건 물	콘크리트	50
			목조	15
		창 고	콘크리트	60
		하역기계		20
		철도		40
		등대		30
	무전시설		25	

4.2 방파제의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석

4.2.1 적용대상의 선정

본 연구에서 제안된 의사결정방법론인 퍼지신뢰성에 의한 LCC의 가치분석 방법론의 타당성을 검토하기 위한 분석대상은 “OOO항 방파제 축조공사”의 방파제로 선정하였으며, 방파제의 대안별 일반 사항을 그림 4.4~4.7과 같이 정리하였다.

원안은 내파 안정성이 우수하며, 유지관리가 용이하고, 항내측 친수성이 양호하며 내측의 선박접안이 가능한 TTP 피복 케이슨 직립제 방파제로 그림 4.4와 같은 단면형상이다.

대안 1은 내측이 직립으로 해수소통구의 통수능력이 증대되며, 파고 전단율이 우수하고 시공은 다소 난이하나 유지관리성은 용이하며, 방파제 축조 후 항로 영향성이 적은 편인 외측 TTP 피복 케이슨 혼성제로 그림 4.5와 같은 단면형상이다.

대안 2는 대형 시공 장비가 필요하며, 기상 악화 시 항외측 입사파랑 반사효과가 탁월하고, 경관의 우수성은 보통이며, 시공성이 좋고 단변 시공이 가능하여 경제적인 내외측 TTP 피복 케이슨 혼성제로서 그림 4.6과 같은 단면형상이다.

대안 3은 항내측 진입파에 대한 소파효과가 기대되며, 내측수역의 잠식우려가 비교적 작고, 대형의 시공 장비가 필요하고 시공성에 대한 난이도가 비교적 높아 초기 경제성이 보통인 곡면 슬릿 케이슨으로 그림 4.7과 같은 단면형상이다.

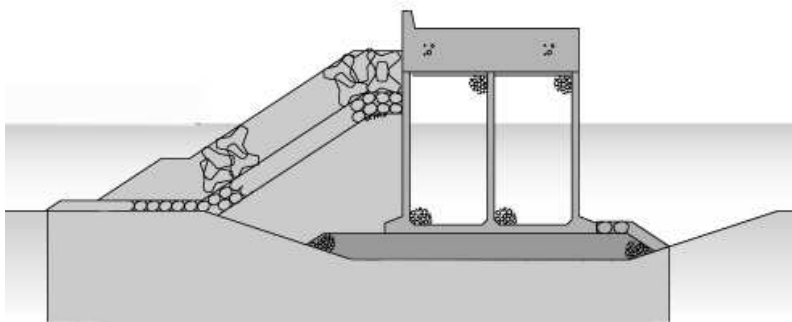


그림 4.4 TTP 피복 케이슨 직립제 방파제 단면형상

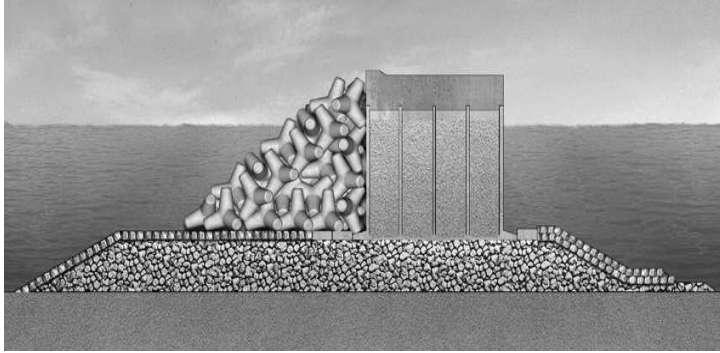


그림 4.5 외측 TTP 피복 케이슨 혼성제 방파제 단면형상

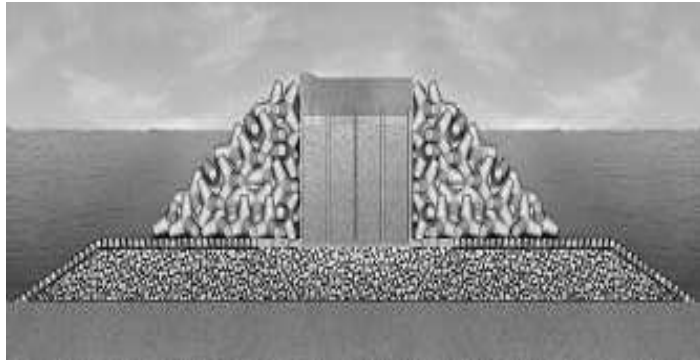


그림 4.6 내외측 TTP 피복 케이슨 혼성제 방파제 단면형상

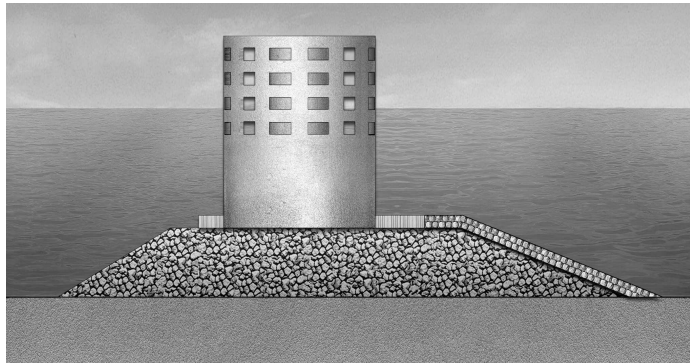


그림 4.7 곡면 슬릿 케이슨 방파제 단면형상

4.2.2 정성적 평가결과 및 분석

본 대상사업의 특성을 고려하여 최적의 방과제 형식을 선정하기 위한 성능평가 기준 항목은 기술성, 사용성, 경제성, 환경성을 고려한 반사과 제한성, 시공 적정성, 사용편리성, 유지관리 용이성, 초기비용 경제성, 경관 우수성, 향로 영향성, 생태 조화성의 8개 항목으로 분류하고 성능정의를 표 4.3에 나타내었다

표 4.3 방과제구조물의 성능평가 기준항목 설정

평 가 항 목		성 능 정 의
기술적 측면	반사과 제한성	◦ 공법적용으로 인한 개량효과 고려
	시 공 적정성	◦ 시공안정성 확보 및 시공 중의 피해 최소화와 최적 공사관리 시스템 구축에 의한 공기단축 형식 선정
사용성 측면	사 용 편리성	◦ 내염해성 향상, 내구년수 증대를 위한 신뢰성 및 염해성 고려 선정
	유지관리 용 이 성	◦ 유지관리가 용이하고 최소화할 수 있으며 동시에 수명 연장이 가능한 구조 선정
경제적 측면	초기비용 경 제 성	◦ 최적화 설계 및 부식방지, 초기투자비, 유지관리비를 고려한 형식 선정
환경적 측면	경 관 우수성	◦ 변화성 있는 단면을 설치하고 상부폭 확대로 경관성 있는 시설물 및 조형을 고려한 형식 선정
	향 로 영향성	◦ 구조물 주위를 운행하는 선박 등에 대한 영향을 검토 선정
	생 태 조화성	◦ 환경 악영향을 최소화하며 친환경 및 생태보호적 공법을 도입을 고려한 형식 선정

표 4.3의 성능평가기준에 대한 가중치 산정을 위하여 설계자가 대상사업의 현황설명을 하였고, 이에 전문가 및 VE 분석자를 대상으로 설문조사가 수행되었다. 수행된 설

문조사 분석결과인 평가항목에 대한 상대적 중요도를 바탕으로 AHP 기법을 사용하여 가중치를 산정하였으며, 가중치 산정 결과는 표 4.4와 같으며 방파제의 품질모델과 평가항목의 가중치 비교는 그림 4.8~4.9와 같다.

표 4.4 AHP 분석에 의한 방파제의 품질모델 산정결과

평가항목	A	B	C	D	E	F	G	H	가중치	확정치
반사파제한성	1.00	1.00	3.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	0.1918	19
시공적정성		1.00	3.00	1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	0.1918	19
사용편리성			1.00	0.33	0.50	1.00	0.50	0.50	0.0575	6
유지관리용이성				1.00	2.00	3.00	2.00	2.00	0.1920	19
초기비용경제성					1.00	2.00	1.00	1.00	0.1031	11
경관우수성						1.00	0.50	0.50	0.0576	6
항로영향성							1.00	1.00	0.1031	10
생태조화성								1.00	0.1031	10
$\lambda_{\max}=8.023$ C.I.=0.0033 C.R.=0.0023									1.0000	100

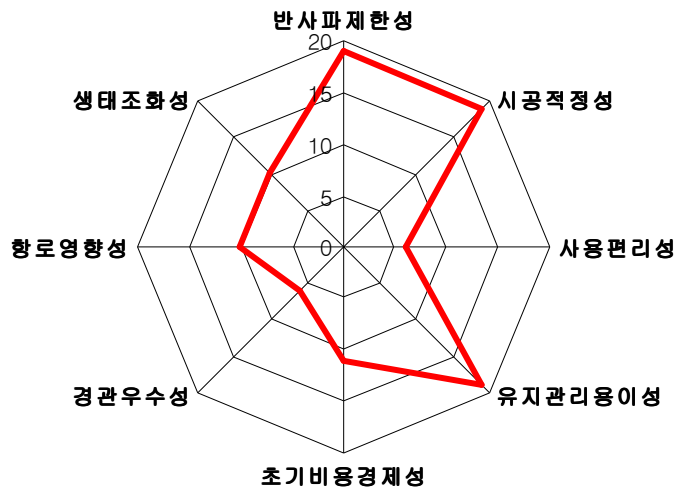


그림 4.8 방파제의 품질모델

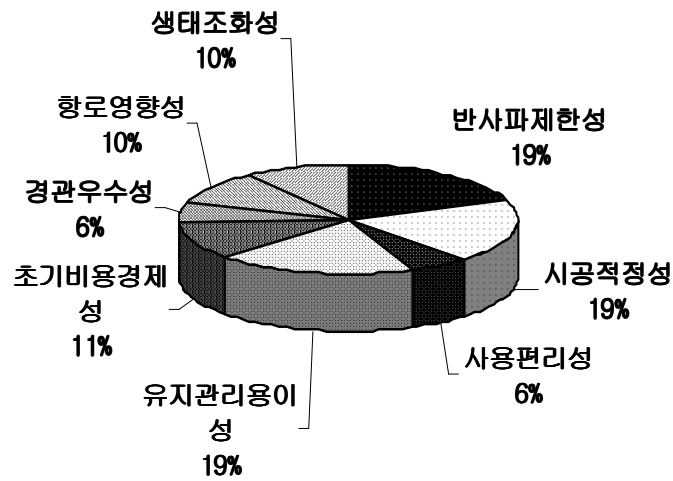


그림 4.9 방과제 평가항목의 가중치

AHP 분석결과의 일관성 검증은 Saaty가 제안한 C.R로 검증할 수 있으며, Saaty는 C.R의 값이 10% 이내인 경우에 쌍대비교 분석결과 가중치의 일관성에 무리가 없는 것으로 제안하였다. 표 4.4에서 C.R 값이 0.0023으로 분석결과의 일관성을 유지하고 있으며, 그림 4.9와 같이 평가항목의 가중치는 반사파 제한성이 19%, 유지관리 용이성이 19%, 시공 적정성이 19%로 중요한 평가항목의 결과로 분석되었다.

각 평가항목에 대한 대안별 등급점수(RI)의 산정은 전문가 및 VE 분석자가 각각의 대안들에 대한 장·단점 분석을 통하여 표 4.5와 같이 등급점수를 부여하였다. 각각의 평가항목에 따라 표 4.4의 품질모델 가중치와 표 4.5의 등급점수를 이용하여 통합 VE 분석절차에 따라 대안별로 기능평가를 수행하여 그 결과를 표 4.6에 나타내었다.

표 4.6과 같이 각 평가항목에 대한 대안별 기능점수를 본 연구의 퍼지론적 방법과 기존의 확정론적 방법에 따라 산정한 결과는 퍼지론적 방법에서 대안 1의 기능점수가 89.1로 가장 높게 분석되었고, 확정론적 방법에서도 대안 1의 기능점수가 90.0로 가장 높게 분석되었다.

특히 퍼지론적 방법에 있어 대안 1의 기능향상지수가 11.0%로서 원안의 3.0% 및 대안 2의 2.0%, 대안 3의 0.0%에 비해 기능평가에서 우수함을 알 수 있다.

표 4.5 각 성능평가항목에 대한 대안별 등급

구 분	폐지론적 방법				확정론적 방법			
	원안	대안 1	대안 2	대안 3	원안	대안 1	대안 2	대안 3
반사과제 한성	9.4	9.6	8.6	7.8	9	8	8	8
시공적정성	9.6	9.4	8.6	7.5	9	9	8	8
사용편리성	8.4	9.6	8.2	7.6	7	8	8	8
유지관리용이성	9.4	8.9	8.6	8.2	9	9	9	8
초기비용경제성	8.2	8.7	8.3	7.7	7	8	8	8
경관우수성	8.8	9.5	8.6	8.2	9	9	10	9
항로영향성	7.9	9.8	8.2	7.8	8	10	8	10
생태조화성	8.2	8.8	8.0	7.5	7	9	8	9

표 4.6 각 성능평가항목에 대한 대안별 기능점수

구분	폐지론적 방법				확정론적 방법			
	원안	대안 1	대안 2	대안 3	원안	대안 1	대안 2	대안 3
반사과제 한성	15.9	17.1	15.7	15.4	17.3	19.2	17.3	15.3
시공적정성	15.9	17.1	15.7	15.4	17.3	15.4	15.3	13.4
사용편리성	4.8	5.1	4.7	4.6	4.0	5.7	5.2	5.2
유지관리용이성	16.0	17.1	15.7	15.5	17.3	17.3	15.4	17.3
초기비용경제성	8.6	9.2	8.4	8.3	7.2	10.3	8.3	8.3
경관우수성	4.8	5.1	4.7	4.6	5.2	4.6	5.2	4.0
항로영향성	8.6	9.2	8.4	8.3	8.2	9.3	7.2	7.1
생태조화성	8.6	9.2	8.4	8.3	7.2	8.2	7.2	7.1
합 계	83.2	89.1	81.7	80.4	83.7	90.0	81.1	77.7

각각의 평가항목 대한 대안별 열화성능점수의 산정은 표 4.4의 품질모델 가중치와 표 4.5의 등급점수를 이용하여 통합 VE 분석 절차에 따라 대안별로 열화성능평가를 수행하여 그 결과를 표 4.7에 나타내었다.

표 4.7 각 성능평가항목에 대한 대안별 열화성능점수

구 분	퍼지론적 방법				확정론적 방법			
	원안	대안 1	대안 2	대안 3	원안	대안 1	대안 2	대안 3
반사파제한성	14.5	15.1	14.4	14.3	14.7	15.1	14.5	14.3
시공적정성	14.5	15.1	14.4	14.3	14.7	15.1	14.5	14.3
사용편리성	4.4	4.5	4.3	4.3	4.3	4.5	4.3	4.3
유지관리용이성	14.5	15.2	14.4	14.3	15.2	15.2	14.5	14.3
초기비용경제성	7.8	8.1	7.7	7.7	8.1	8.1	7.8	7.7
경관우수성	4.4	4.5	4.3	4.3	4.5	4.5	4.3	4.8
향로영향성	7.8	8.1	8.1	7.7	8.1	8.1	7.8	7.7
생태조화성	7.8	8.1	8.1	7.7	8.1	8.1	7.8	7.7
합 계	75.7	78.7	75.7	74.6	77.7	78.7	75.5	75.1

표 4.7과 같이 퍼지론적 방법에서는 대안 1의 열화성능점수가 78.7로서 가장 높게 분석되었고, 확정론적 방법에서도 대안 1의 열화성능점수가 78.7로 가장 높게 분석되었다. 특히 퍼지론적 방법에 의한 결과에서 원안, 대안 2 및 대안 3의 열화성능점수가 각각 75.7, 75.7 및 74.6의 순서이고 확정론적 방법에 의한 결과에서도 원안, 대안 2 및 대안 3의 열화성능점수가 각각 77.7, 75.5 및 75.1의 순서로서 열화성능점수의 분석에 있어 두 가지 방법론의 결과가 상호 유사함을 알 수 있다.

특히 퍼지론적 방법에 있어 대안 1의 성능향상지수가 5.0%로서 원안의 1.0% 및 대안 2의 1.0%, 대안 3의 0.0%에 비해 열화성능평가에서 다소 유리함을 알 수 있다.

4.2.3 정량적 평가결과 및 분석

본 연구에서는 적용대상 방과제의 LCC 분석을 위한 기본적인 데이터인 대안별 유지관리물량은 설계된 대안별 자료를 분석하여 물량을 산출하였고, 단위 유지관리비용 및 각종 주기 관련 데이터는 항만공사에서 수행한 연구 자료의 데이터를 활용하였다.

본 절은 적용대상 방과제의 정량적 평가결과로서 항만구조물의 LCC 분석모델에 따라 퍼지론적 LCC 분석을 수행하였고, 퍼지신뢰성 해석에 기초한 LCC 결과 값을 표 4.8에 나타내었다. 이 때 직접 손실비용 및 간접 손실비용은 생애주기 동안 4번의 유지관리조치인 보수를 취하는 것으로 산정하였다.

표 4.8 대안별 LCC 분석결과

구 분		LCC 분석결과 (단위 : 천원)			
		원안	대안 1	대안 2	대안 3
직접 손실비용	초기투자비용	110,670	120,440	132,010	116,560
	유지관리 및 교체비용	745,960	685,000	707,330	600,970
간접 손실비용		1,236,720	1,052,520	1,247,480	1,315,640
LCC 합계		2,093,350	1,857,960	2,113,820	2,033,170
상대 LCC 지수		1.12	1.00	1.14	1.09

표 4.8과 같이 방과제의 대안별 상대 LCC 지수의 분석결과는 원안이 1.12, 대안 1이 1.00, 대안 2는 1.14, 대안 3은 1.09로서 대안 1이 LCC 분석측면에서 가장 경제적인 것으로 나타났으며, 대안 2가 가장 비경제적인 것으로 분석되었다.

비용절감지수인 CII 분석결과는 원안이 2.0%, 대안 1은 12.0%, 대안 2는 0.0%, 대안 3은 4.0%로 각각 분석되어 대안 1이 가장 경제적인 설계로 분석되었다.

표 4.9와 같이 성과측정 평가에 있어 신규투자대비 회수배율 1안을 분석한 결과는 대안 1은 2.12배, 대안 3은 0.69배, 원안은 0.18배, 대안 2는 0.0배의 순으로 분석되었고, 신규투자비용의 차 대비 회수배율 2안을 분석한 결과는 대안 1이 22.11배, 대안 3은 5.22배, 원안은 0.96배, 대안 2는 0.00의 순으로 분석되었다.

대안별 경제성평가인 ECI 결과는 대안 1이 12.0%, 대안 3이 4.0%, 원안이 1.0%, 대안 2는 0.0%의 순으로 퍼지론적 방법에서 대안 1이 모두 우수하게 분석되었다.

표 4.9 성과측정 및 경제성 평가 분석결과

구 분		원안	대안 1	대안 2	대안 3
퍼지론적 방법	대안별 LCC차	20,470	255,860	0	80,650
	회수배율 1안	0.18	2.12	0	0.69
	회수배율 2안	0.96	22.11	0	5.22
	경제성평가	1.0	12.0	0	4.0
확률론적 방법	대안별 LCC차	20,430	266,320	0	80,940
	회수배율 1안	0.18	2.14	0	0.10
	회수배율 2안	0.95	23.26	0	5.33
	경제성평가	0.99	12.3	0	3.8
<p>주) 대안 2의 대안별 성과측정 및 경제성평가는 표 3.6의 계산식에 의해 0으로 산정됨</p> $DLCC = LCC_{\max} - LCC_{\text{alt}} = 2,113,820 - 2,113,820 = 0$ $\text{경제성평가(ECI)} = 100\% - (LCC_{\text{alt}} / LCC_{\max}) * 100 = 100 - (2,113,820 / 2,113,820) * 100 = 0$					

4.2.4 퍼지신뢰성 평가결과 및 분석

방과제에 대한 대안별 정성적 및 정량적 평가결과를 바탕으로 최적의 설계안을 선정하기 위하여 열화성능함수를 사용하여 퍼지신뢰성 해석을 수행한 결과는 표 4.10과 같이 Kanda의 확률론적 방법에 따른 신뢰성지수 값은 대안 1이 2.50, 원안이 2.34, 대안 2가 2.31, 대안 3이 2.27의 순서로 분석되었고, 퍼지론적 방법에 있어 대안별 상태등급 평가를 위한 퍼지신뢰성 지수는 대안 1이 2.46, 원안이 2.30, 대안 2가 2.27, 대안 3이 2.24의 순서로 분석되어 확률론적 방법과 퍼지론적 방법이 상호 유사한 결과를 나타내었다.

표 4.10 대안별 퍼지신뢰성 해석의 결과

구 분	해석방법	대안별 방과제의 신뢰성지수			
		원안	대안 1	대안 2	대안 3
확률론적 방법	Kanda 해석방법	2.34	2.50	2.31	2.27
퍼지론적 방법	언어정보 방법	2.30	2.46	2.27	2.24

구조성능함수를 고려한 퍼지신뢰성 해석을 수행한 결과와 미래에 발생할 대안별 유지관리 전략을 분석한 결과는 표 4.11과 같다. 대안별 신뢰성 및 유지관리 전략 분석결과 표 4.11과 같이 대안 1이 다른 대안별에 비해 비교적 유리하게 나타남을 알 수 있다.

지금까지 방과제 등 항만구조물의 설계단계에서 미래에 발생할 유지관리비를 예측하여 대안선정에 반영하기에는 많은 어려움이 있었으나 본 연구의 퍼지신뢰성 해석에 의한 VE/LCC 분석모델은 열화성능을 예측함으로써 대안별 구조신뢰성 및 유지관리조치를 비교 분석할 수 있는 장점이 있을 뿐만 아니라 관리주체가 시간의존적 가치 및 생애주기비용을 분석할 수 있으므로 보다 실용적이고 합리적 방법임을 알 수 있다.

표 4.11 대안별 신뢰성 및 유지관리 전략 분석결과 비교

구 분	원안	대안 1	대안 2	대안 3
보수·보강전의 잔여수명(년)	7.7	10.2	7.2	6.7
보수·보강후의 잔여수명(년)	29.2	31.3	28.8	28.5
잔여수명의 증가분(년)	21.5	21.1	21.6	21.8
보유 구조성능 지수	0.76	0.79	0.75	0.74
손상 신뢰성지수	2.30	2.46	2.27	2.24
손상 파괴확률	0.0107	0.0070	0.0116	0.0127
1차보수시기(년)	29.2	31.3	28.8	28.5
2차보수시기(년)	50.7	52.4	50.4	50.1
3차보수시기(년)	72.2	73.6	71.9	71.7

퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석을 위한 대안별 평가지표 산정결과를 표 4.12와 같이 나타내었고, 대안별 가치점수 및 가치향상지수의 산정결과를 표 4.13~4.14와 같이 나타내었다.

표 4.13~14와 같이 퍼지신뢰성의 통합 가치분석에 따른 가치지수는 대안 1이 106.1, 대안 3이 91.4, 원안이 90.4, 대안 2가 88.7의 순서로서 대안 1이 가장 높게 나타났고, 최소치 대비 가치향상지수는 대안 1이 20.0%, 대안 3이 3.0%, 원안이 2.0%, 대안 2가 0.0%씩 각각 향상된 것으로 분석되었다.

표 4.12 통합 가치분석을 위한 평가지표 산정결과

구 분	원안	대안 1	대안 2	대안 3
기능지수	0.832	0.891	0.817	0.804
상대기능지수	1.03	1.11	1.02	1.00
기능향상지수	0.03	0.11	0.02	0.00
상태지수	0.520	0.433	0.537	0.557
상대상태지수	0.93	0.78	0.96	1.00
상태향상지수	0.07	0.22	0.04	0.00
열화성능지수	0.757	0.787	0.757	0.746
상대성능지수	1.01	1.05	1.01	1.00
성능향상지수	0.01	0.05	0.01	0.00
LCC 지수	2,093,350	1,857,960	2,113,820	2,033,170
상대 LCC 지수	1.12	1.00	1.14	1.09
비용절감지수	0.02	0.12	0.00	0.04
가치지수	0.904	1.061	0.887	0.914
상대가치지수	1.02	1.20	1.00	1.03
가치향상지수	0.02	0.20	0.00	0.03

표 4.13 방파제의 원안·대안 1 가치점수 및 가치향상지수

원안 : TTP 피복 케이스 직립제		
구 분	가치지수(VI)	Value Diagram
반사파제한성	17.4	
시공적정성	17.3	
사용편리성	5.2	
유지관리용이성	17.4	
초기비용경제성	9.3	
경관우수성	5.2	
항로영향성	9.3	
생태조화성	9.3	
합 계	90.4	가치 향상지수(VII)=2.0(%)
대안 1 : 외측 TTP 피복 케이스 혼성제		
구 분	가치지수(VI)	Value Diagram
반사파제한성	20.4	
시공적정성	20.4	
사용편리성	6.1	
유지관리용이성	20.3	
초기비용경제성	10.9	
경관우수성	6.1	
항로영향성	10.9	
생태조화성	10.9	
합 계	106.1	가치 향상지수(VII)=20.0(%)

표 4.14 방파제의 대안 2·대안 3 가치점수 및 가치향상지수

대안 2 : 내외측 TTP피복 케이슨 혼성제		
구 분	가치지수(VI)	Value Diagram
반사파제한성	17.0	
시공적정성	17.0	
사용편리성	5.1	
유지관리용이성	17.0	
초기비용경제성	9.1	
경관우수성	5.1	
항로영향성	9.2	
생태조화성	9.2	
합 계	88.7	
대안 3 : 곡면 슬릿 케이슨		
구 분	가치지수(VI)	Value Diagram
반사파제한성	17.5	
시공적정성	17.5	
사용편리성	5.3	
유지관리용이성	17.6	
초기비용경제성	9.4	
경관우수성	5.3	
항로영향성	9.4	
생태조화성	9.4	
합 계	91.4	

4.2.5 방파제의 VE/LCC 분석 종합결과

본 절에서는 방파제의 형식 선정 시 열화성능함수를 고려한 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석모델을 이용하여 대안별 통합 가치평가를 수행하였으며, 그 결과를 종합하여 정리하면 표 4.15와 같다.

표 4.15 방파제의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석 종합결과

구분		퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석 종합결과			
		원안	대안 1	대안 2	대안 3
정성적 분석	기능점수	83.2	89.1	81.7	80.4
	열화성능점수	75.7	78.7	75.7	74.6
정량적 분석	상대 LCC 지수	1.12	1.00	1.14	1.09
퍼지신뢰성 분석	신뢰성지수	2.30	2.45	2.27	2.24
	가치향상지수	1.8	19.6	0.00	3.00
종합 평가			최적안		

방파제의 대안별 퍼지신뢰성 기반 VE/LCC 분석결과 표 4.15와 같이 대안 1이 모든 대안에 비해 정성적 평가와 정량적인 평가 및 퍼지신뢰성 평가의 종합적인 분석결과가 유리하게 나타났고, 기존의 확정론적 방법에서도 유사한 결과를 나타내어 본 연구 결과를 검증할 수 있었다. 따라서 방파제의 설계 VE 업무를 수행함에 있어 대안 평가 시 제안된 퍼지신뢰성 해석에 의한 LCC 분석의 의사결정방법을 효율적으로 활용함으로써 가치지향적 설계대안의 선정, 생애주기비용의 평가 및 유지관리 조치를 위한 예산의 분배 등에 크게 기여할 것으로 기대된다.

4.3 안벽의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석

4.3.1 적용대상의 선정

본 연구에서 제안된 의사결정 방법론인 퍼지신뢰성 이론에 의한 LCC의 가치분석 방법론의 타당성을 검토하기 위한 두 번째 분석대상은 “OOO항 안벽 축조공사”의 안벽시설물로 선정하였으며, 안벽에 대한 대안별 일반사항을 그림 4.10~4.13과 같이 정리하였다.

원안은 내파안정성이 우수하고, 유지관리가 용이하며, 항내측 친수성이 양호한 소형 케이슨 안벽으로서 그림 4.10과 같은 단면형상을 가지고 있다.

대안 1은 내측직립으로 해수 소통구 통수능력이 증대되며, 파고 전단율이 우수하고 시공은 다소 난이하나 유지관리가 용이한 소파 대형 케이슨식 안벽으로서 그림 4.11과 같은 단면형상을 가지고 있다.

대안 2는 대형 시공 장비가 필요하고, 기상 악화 시 항외측 입사파랑에 대한 반사효과가 탁월하며, 시공성이 좋고 경제적 단변시공이 가능한 Semi-hybrid 케이슨식 안벽으로서 그림 4.12와 같은 단면형상을 가지고 있다.

대안 3은 항내측 진입과 소파효과가 기대되며, 내측수역 잠식이 적음으로 유리하고, 대형 시공 장비 및 시공성 난이 등으로 초기 경제성은 보통인 광폭 케이슨식 안벽으로서 그림 4.13과 같은 단면형상을 가지고 있다.

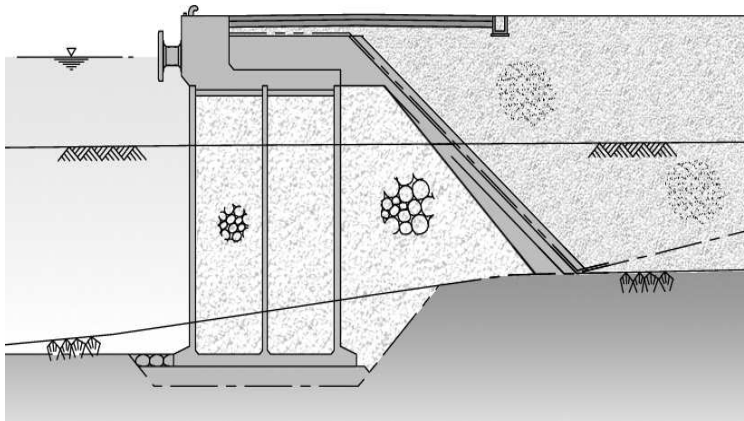


그림 4.10 소형 케이슨 안벽 단면형상

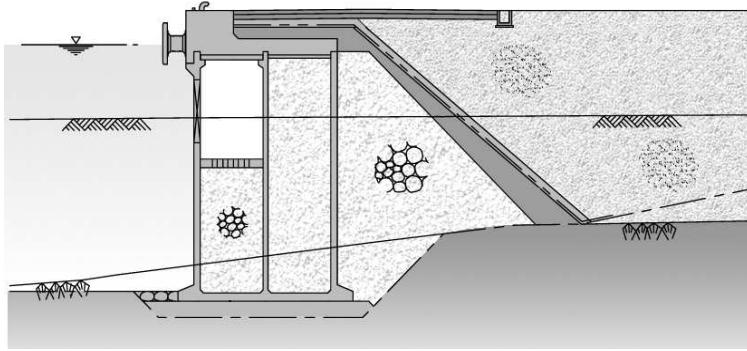


그림 4.11 소파 대형 케이슨식 안벽 단면형상

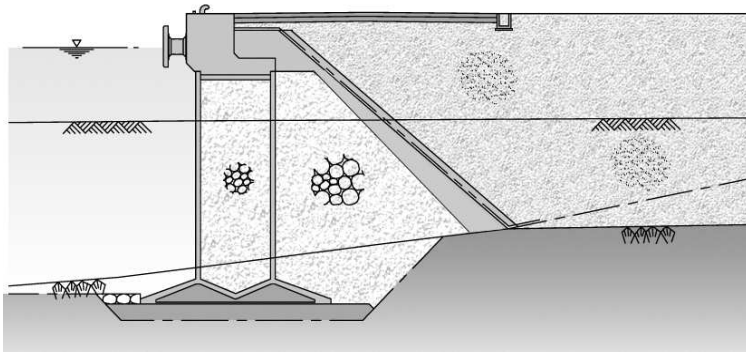


그림 4.12 Semi-hybrid 케이슨식 안벽 단면형상

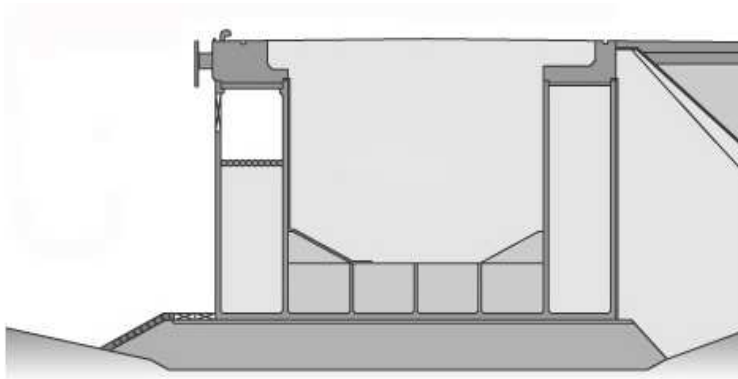


그림 4.13 광폭 케이슨식 안벽 단면형상

4.3.2 정성적 평가결과 및 분석

본 대상사업의 특성을 고려하여 최적의 안벽형식을 선정하기 위한 성능평가 기준항목은 기술성과 사용성 그리고 경제성 및 환경성을 고려한 최적의 안벽형식을 선정하기 위한 성능평가 기준항목은 내구성, 안정성, 이용성, 그리고 연계성, 유지관리성, 환경성, 시공성 및 경제성의 8개 항목으로 분류하고 성능정의를 표 4.16에 나타내었다.

표 4.16 안벽시설물의 성능평가 기준항목 설정

평가항목	성능정의
내구성	◦ 내염해성 향상 및 내구연수 증대를 고려한 안벽형식 선정
안정성	◦ 선박접안의 안정성 확보 및 순응성과 최적 공사관리 시스템 구축에 의한 공기단축 안벽형식 선정
이용성	◦ 접안 편의시설 적용 가능성 고려 선정
연계성	◦ 기존부두와 향후 개발계획을 고려한 연계 활용성이 가능한 구조 선정
유지관리성	◦ 유지관리 조치행위의 최소성 및 편의성을 고려한 안벽 형식 선정
환경성	◦ 시공 중 환경오염 최소화 및 친환경 어초기능 확보를 고려한 안벽 형식 선정
시공성	◦ 시공 장비 및 적용공법의 편리성 등에 대한 영향을 검토하여 안벽형식 선정
경제성	◦ 초기투자비용 및 유지관리비용 절감을 고려한 안벽 형식 선정

표 4.16의 성능평가기준에 대한 가중치 산정을 위하여 설계자가 대상사업의 현황 설명을 하였고, 이에 전문가 및 VE 분석자를 대상으로 설문조사가 수행되었다. 수행된 설문조사 분석결과인 성능평가 기준항목에 대한 상대적 중요도를 바탕으로 AHP 기법을 사용하여 가중치를 산정하였으며, 가중치 산정 결과는 표 4.17과 같고, 안벽의 품질 모델과 평가항목의 가중치 비교는 그림 4.14~15와 같다.

표 4.17 AHP 분석에 의한 안벽의 품질모델 산정결과

평가항목	A	B	C	D	E	F	G	H	가중치	확정치
A 내구성	1.00	0.50	1.00	0.50	1.00	2.00	2.00	2.00	0.1218	12
B 안정성		1.00	2.00	1.00	2.00	3.00	3.00	3.00	0.2191	22
C 이용성			1.00	0.50	1.00	2.00	2.00	2.00	0.1218	12
D 연계성				1.00	2.00	3.00	3.00	3.00	0.2191	22
E 유지관리성					1.00	2.00	2.00	2.00	0.1218	12.5
F 환경성						1.00	1.00	1.00	0.0654	6.5
G 시공성							1.00	1.00	0.0654	6.5
H 경제성								1.00	0.0654	6.5
$\lambda_{\max}=8.025$ C.I.=0.0036 C.R.=0.0027									1.0000	100

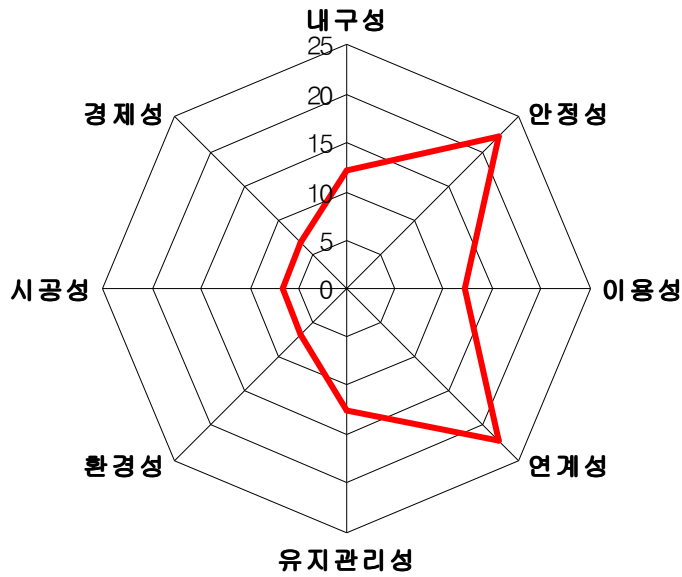


그림 4.14 안벽의 품질모델

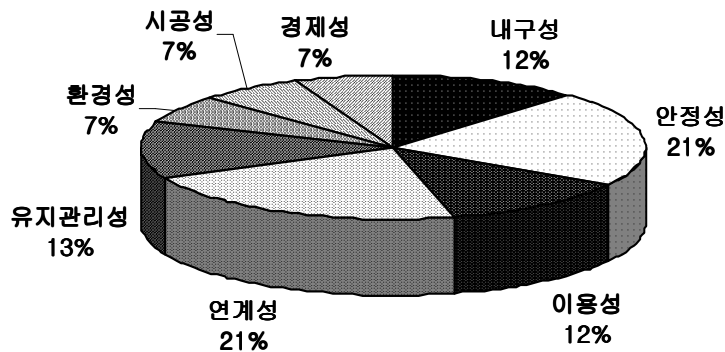


그림 4.15 안벽 평가항목의 가중치

.AHP 분석결과와 일관성 검증은 Saaty가 제안한 일관성 비율(C.R)로 검증할 수 있으며, Saaty는 C.R의 값이 10% 이내인 경우에 쌍대비교 분석결과 가중치의 일관성에 무리가 없는 것으로 제안하였다. 표 4.17에서 C.R 값이 0.0027로서 분석결과와 일관성을 유지하고 있으며. 그림 4.15와 같이 평가항목의 가중치는 연계성과 안정성이 21%로 중요한 평가항목의 결과로 분석되었다.

각 성능평가항목에 대한 대안별 등급점수(RI)의 산정은 우선 설계자가 전문가 및 VE 분석자가 각각의 대안들에 대한 장·단점 분석을 통하여 표 4.18과 같이 등급점수를 부여하였다. 각각의 평가항목에 따라 표 4.17의 품질모델 가중치와 표 4.18의 등급점수를 이용하여 통합 VE 분석 절차에 따라 대안별 기능평가를 수행하여 그 결과를 표 4.19에 나타내었다.

표 4.19와 같이 각 평가항목에 대한 대안별 기능점수를 본 연구의 퍼지론적 방법과 기존의 확정론적 방법에 따라 산정한 결과는 퍼지론적 방법에서는 대안 1의 기능점수가 83.7로서 가장 높게 나타났고, 확정론적 방법에서도 대안 1의 기능점수가 91.0로서 다른 대안에 비해 월등하게 높게 나타났다.

특히 퍼지론적 방법에 있어 대안 1의 기능향상지수인 FII가 12.0%로서 원안의 0.0%, 대안 2의 0.0% 및 대안 3의 10.0%에 비해 기능평가에서 우수함을 알 수 있다.

표 4.18 각 성능평가항목에 대한 대안별 등급

구분	퍼지론적 방법				확정론적 방법			
	원안	대안 1	대안 2	대안 3	원안	대안 1	대안 2	대안 3
내구성	7.6	9.4	6.7	9.6	8	9	7	10
안정성	6.7	9.6	7.4	8.3	7	10	7	8
이용성	7.6	7.8	6.7	8.6	8	8	7	9
연계성	7.5	9.4	7.2	9.3	8	9	7	9
유지관리성	7.7	9.4	8.1	9.4	8	9	8	9
환경성	8.3	8.8	6.4	9.0	8	9	6	9
시공성	7.3	8.9	8.5	8.4	7	9	9	8
경제성	7.6	8.8	6.7	7.4	8	9	7	7

표 4.19 각 성능평가항목에 대한 대안별 기능점수

구분	퍼지론적 방법				확정론적 방법			
	원안	대안 1	대안 2	대안 3	원안	대안 1	대안 2	대안 3
내구성	9.1	10.2	9.1	10.0	9.7	11.0	8.5	12.2
안정성	16.4	18.3	16.4	18.0	15.3	21.9	15.3	17.5
이용성	9.1	10.2	9.1	10.0	9.7	9.7	8.5	11.0
연계성	16.4	18.3	16.4	18.0	17.5	19.7	15.3	19.7
유지관리성	9.1	10.2	9.1	10.0	9.7	11.0	9.7	11.0
환경성	4.9	5.5	4.9	5.4	5.2	5.9	3.9	5.9
시공성	4.9	5.5	4.9	5.4	4.6	5.9	5.9	5.2
경제성	4.9	5.5	4.9	5.4	5.3	5.9	4.6	4.6
합 계	74.8	83.7	74.8	82.2	77.0	91.0	71.7	87.1

각각의 평가항목에 대한 대안별 열화성능점수의 산정은 표 4.17의 품질모델 가중치와 표 4.18의 등급점수를 이용하여 통합 VE 분석절차에 따라 대안별 열화성능평가를 수행하여 그 결과를 표 4.20에 나타내었다.

표 4.20 각 성능평가항목에 대한 대안별 열화성능점수

구 분	퍼지론적 방법				확정론적 방법			
	원안	대안 1	대안 2	대안 3	원안	대안 1	대안 2	대안 3
내구성	9.5	10.1	9.5	10.0	9.5	9.9	9.3	9.8
안정성	17.1	18.2	17.1	18.0	17.0	17.8	16.7	17.6
이용성	9.5	10.1	9.5	10.0	9.5	9.9	9.3	9.8
연계성	17.1	18.2	17.1	18.0	17.0	17.8	16.7	17.6
유지관리성	9.5	10.1	9.5	10.0	9.5	9.9	9.3	9.8
환경성	5.1	5.4	5.1	5.4	5.1	5.3	5.0	5.2
시공성	5.1	5.4	5.1	5.4	5.1	5.3	5.0	5.2
경제성	5.1	5.4	5.1	5.4	5.1	5.3	5.0	5.2
합 계	78.0	82.9	78.0	82.2	77.8	81.2	76.3	80.2

표 4.20과 같이 퍼지론적 방법에서는 대안 1의 열화성능점수가 82.9로서 가장 높게 분석되었고, 확정론적 방법에서도 대안 1의 열화성능점수가 81.2로 가장 높게 분석되었다. 특히 퍼지론적 방법에 의한 결과에서 대안 3, 원안 및 대안 2의 열화성능점수가 각각 82.2, 78.0 및 78.0의 순서이고 확정론적 방법에 의한 결과에서도 대안 3, 원안 및 대안 2의 열화성능점수가 각각 80.2, 77.8 및 76.3의 순서로서 열화성능점수의 분석에 있어 두 가지 방법론의 결과가 상호 유사함을 알 수 있다.

특히 퍼지론적 방법에 있어 대안 1의 성능향상지수가 6.0%로서 원안의 0.0% 및 대안 3의 5.0%에 비해 열화성능평가에서 우수함을 알 수 있다.

4.3.3 정량적 평가결과 및 분석

본 연구에서는 적용대상 안벽의 정량적 평가에 있어서 LCC 분석을 위한 기본적인 데이터인 대안별 유지관리 물량은 설계된 대안에 대하여 물량을 산출하여 분석하였고, 단위유지관리비용 및 각종 주기 관련 데이터는 항만공사에서 수행한 연구 자료의 데이터를 활용하였다.

본 절은 적용대상 안벽의 정량적 평가결과로서, 안벽의 LCC 분석모델에 따라 퍼지론적 LCC 분석을 수행하였고, 퍼지신뢰성 해석에 기초한 LCC 결과 값을 대안별로 비교하여 표 4.21에 나타내었다.

이때 직접 손실비용 및 간접 손실비용은 생애주기 동안 4번의 유지관리조치를 취하는 것으로 산정하였다.

표 4.21과 같이 안벽의 대안별 상대적인 LCC 지수의 분석결과는 원안이 1.14, 대안 2가 1.08, 원안은 1.14, 대안 3은 1.37로서 대안 1이 LCC 분석측면에서 가장 경제적인 것으로 나타났고, 대안 3이 가장 비경제적인 것으로 분석되었다.

표 4.22와 같이 성과측정 평가에 있어 신규투자대비 회수배율 1안을 분석한 결과는 대안 1이 0.54배, 대안 2는 0.46배, 원안은 0.30배, 대안 3은 0.0배로 대안 1, 대안 2, 원안, 대안 3의 순으로 분석되었다.

신규투자비용의 차 대비 회수배율 2안을 분석한 결과는 대안 1은 1.02배, 원안은 0.69배, 대안 2는 0.69배, 대안 3은 0.0배의 순으로 분석되었다.

대안별 경제성평가인 ECI 결과는 대안 1이 26.9%, 대안 2는 21.0%, 원안은 16.5%, 대안 3은 0.0%로 분석되었으며 대안 1이 경제성측면에서 가장 우수하게 나타났다.

표 4.22의 성과측정 및 경제성 평가 분석결과는 퍼지론적 방법과 확률론적인 방법에서 모두가 대안 1이 가장 우수하게 분석되었다.

표 4.21 대안별 LCC 분석결과

구 분		LCC 분석결과 (단위 : 억원)			
		원안	대안 1	대안 2	대안 3
직접 손실비용	초기 투자비용	1,099	1,047	957	1,595
	유지관리 및 교체비용	171	126	170	184
간접 손실비용		473	353	521	308
LCC 합계		1,743	1,526	1,648	2,087
상대 LCC 지수		1.14	1.00	1.08	1.37

표 4.22 성과측정 및 경제성 평가 분석결과

구 분		원안	대안 1	대안 2	대안 3
퍼지론적 방법	대안별 LCC 차	344	561	439	0.00
	회수배율 1안	0.30	0.54	0.46	0.00
	회수배율 2안	0.69	1.02	0.69	0.00
	경제성 평가	16.5	26.9	21.0	0.00
확률론적 방법	대안별 LC C차	398	567	453	0.00
	회수배율 1안	0.36	0.54	0.48	0.00
	회수배율 2안	0.80	1.03	0.72	0.00
	경제성 평가	18.9	26.9	21.7	0.00
주) 대안 3의 대안별 성과측정 및 경제성 평가는 표 4.22의 계산식에 의해 0으로 산정됨 $DLCC = LCC_{max} - LCC_{alt} = 2,087 - 2,087 = 0$ 경제성평가(ECI) = $100\% - (LCC_{alt} / LCC_{max}) * 100 = 100 - (2,113,820 / 2,113,820) * 100 = 0$					

4.3.4 퍼지신뢰성 평가결과 및 분석

안벽에 대한 대안별 정성적 및 정량적 평가결과를 바탕으로 최적의 설계안을 선정하기 위한 퍼지신뢰성 해석의 수행모델에서 제시한 열화성능함수를 사용하여 퍼지신뢰성 해석을 수행한 결과는 표 4.23과 같다.

표 4.23과 같이 Kanda의 확률론적 방법에 따른 신뢰성지수 값은 대안 1이 2.68, 대안 3은 2.65, 원안에서는 2.47이며 대안 2는 2.47의 순서로 분석되었고, 퍼지론적 방법에 있어 대안별 상태등급 평가를 위한 퍼지신뢰성 지수 값은 대안 1에서는 2.64, 대안 3에서는 2.60, 원안은 2.42, 대안 2는 2.42로 분석되었다. 이 분석결과는 확률론적 방법과 퍼지론적 방법이 상호 유사한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 4.23 대안별 퍼지신뢰성 해석의 결과

구 분	해석방법	대안별 안벽의 신뢰성지수			
		원안	대안 1	대안 2	대안 3
확률론적 방법	Kanda 해석방법	2.47	2.68	2.47	2.65
퍼지론적 방법	언어정보 해석방법	2.42	2.64	2.42	2.60

구조성능함수를 고려한 퍼지신뢰성 해석에 따른 미래에 발생할 대안 설계안별 안벽의 신뢰성 및 유지관리 전략을 분석한 결과를 표 4.24에 정리하였다.

표 4.24의 대안별 신뢰성 및 유지관리 전략 분석결과에의 각종 지수 값을 종합 분석해보면, 대안 1의 결과가 유지관리 전략측면에서 가장 유리하게 도출되고 있으며, 이러한 분석을 통하여 보다 합리적인 유지관리전략을 세울 수 있을 뿐만 아니라 경제적측면의 가치창출을 도모할 수 있을 것으로 분석된다.

표 4.24 대안별 신뢰성 및 유지관리전략 분석결과 비교

구 분	원안	대안 1	대안 2	대안 3
보수·보강전의 잔여수명(년)	2.6	6.7	2.6	6.0
보수·보강후의 잔여수명(년)	23.7	26.9	23.6	26.4
잔여수명의 증가분(년)	21.1	20.2	21.0	20.41
보유 구조성능지수	0.78	0.83	0.78	0.82
손상 신뢰성지수	2.42	2.64	2.42	2.60
손상 파괴확률	0.0077	0.0042	0.0078	0.0046
1차 보수시기(년)	30.8	34.7	30.7	33.0
2차 보수시기(년)	52.0	55.2	52.0	54.6
3차 보수시기(년)	73.2	75.7	73.2	75.2

또한 기존의 방법은 단순히 전문가의 설문조사에 의한 AHP 분석결과와 성능평가를 수행하여 대안별 가치점수로 VE 및 LCC를 비교 분석하고 있기 때문에 생애주기 동안에 발생하는 외관상태와 구조적 또는 물리적 열화성능에 대한 유지관리전략 및 유지관리 조치수준을 전혀 세울 수 없어 미래에 발생할 유지보수 관리비용과 사용자비용을 미리 예측할 수 없는 단점이 있다.

반면에 본 연구의 퍼지신뢰성 해석에 의한 VE 및 LCC 분석방법은 열화성능을 고려한 신뢰성 평가곡선을 미리 예측함으로써 대안별 구조신뢰성 및 유지관리조치에 대해 사후 유지관리를 할 것인가 아니면 예방 유지관리수준으로 할 것인가 비교 분석할 수 있는 장점이 있고, 관리주체가 통합 가치분석을 위한 평가지표를 미리 예측 분석할 수 있기 때문에 보다 실용적이고 과학적인 방법이라고 분석된다.

퍼지신뢰성 이론에 의한 통합 가치분석을 위한 대안별 평가지표 산정 결과를 표 4.25와 같이 나타내었고, 대안별 가치점수 및 가치향상지수의 산정결과를 표 4.26~27과 같이 나타내었다.

표 4.26~4.27과 같이 퍼지신뢰성 이론에 의한 통합 가치분석에 따른 안벽의 가치지수 VI는 대안 1은 106.0, 대안 2는 92.6, 원안은 87.6, 대안 3은 76.9의 순서로 대안 1이 우수하게 분석되었고, 가치향상지수 VII는 대안 3의 0.0%의 최소치 대비 대안 1은 38.0%, 대안 2는 20.0%, 원안에서는 14.0%씩 각각 향상된 것으로 분석되었다.

표 4.25 통합 가치분석을 위한 평가지표 산정결과

구 분	원안	대안 1	대안 2	대안 3
기능지수	0.748	0.837	0.748	0.822
상대기능지수	1.00	1.12	1.00	1.10
기능향상지수	0.00	0.12	0.00	0.10
상태지수	0.519	0.396	0.521	0.415
상대상태지수	0.99	0.76	1.00	0.80
상태향상지수	0.01	0.24	0.00	0.20
열화성능지수	0.780	0.829	0.780	0.822
상대성능지수	1.00	1.06	1.00	1.05
성능향상지수	0.00	0.06	0.00	0.05
LCC 지수	1,743	1,526	1,648	2,087
상대 LCC 지수	1.14	1.00	1.08	1.37
비용절감지수	0.16	0.27	0.21	0.00
가치지수	0.876	1.060	0.926	0.769
상대가치지수	1.14	1.38	1.20	1.00
가치향상지수	0.14	0.38	0.20	0.00

표 4.26 안벽의 원안·대안 1 가치점수 및 가치향상지수

원안 : 소형 케이슨식 안벽		
구 분	V.I	Value Diagram
내구성	10.7	
안정성	19.2	
이용성	10.7	
연계성	19.2	
유지관리성	10.7	
환경성	5.7	
시공성	5.7	
경제성	5.7	
합 계	87.6	
대안 1 : 소파 대형 케이슨식 안벽		
구 분	V.I	Value Diagram
내구성	12.9	
안정성	23.2	
이용성	12.9	
연계성	23.2	
유지관리성	12.9	
환경성	7.0	
시공성	7.0	
경제성	6.9	
합 계	106.0	

표 4.27 안벽의 대안 2·대안 3 가치점수 및 가치향상지수

대안 2 : Semi-Hybrid 케이슨식 안벽			
구 분	V.I	Value Diagram	
내구성	11.3		
안정성	20.3		
이용성	11.3		
연계성	20.2		
유지관리성	12.2		
환경성	6.1		
시공성	6.1		
경제성	6.1		
합 계	92.6		VII=20.0(%)
대안 3 : 광폭 케이슨식 안벽			
구 분	V.I	Value Diagram	
내구성	9.4		
안정성	16.8		
이용성	9.4		
연계성	16.8		
유지관리성	9.4		
환경성	5.0		
시공성	5.0		
경제성	5.1		
합 계	76.9		VII=0.00(%)

4.3.5 안벽의 VE/LCC 분석 종합결과

안벽의 형식 선정 시 열화성능함수를 고려한 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석모델을 이용하여 대안별 통합 가치평가를 수행하였으며, 그 결과를 종합하여 정리하면 표 4.28과 같다.

표 4.28 안벽의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석 종합결과

구분		퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석 종합결과			
		원안	대안 1	대안 2	대안 3
정성적 분석	기능점수	74.80	83.7	74.8	82.2
	열화성능점수	78.0	82.9	78.0	82.2
정량적 분석	상대 LCC 지수	1.14	1.00	1.08	1.37
퍼지신뢰성 분석	신뢰성지수	2.42	2.64	2.42	2.60
	가치향상지수	14.0%	38.0%	20.0%	0.0%
종합 평가			최적안		

안벽의 대안별 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석결과는 표 4.28과 같이 대안 1이 다른 대안에 비해 기능 및 열화성능 면에서 우수할 뿐만 아니라, LCC 측면에서도 비교적 유리한 것으로 나타나 최종적인 퍼지신뢰성 해석에 의한 가치분석 결과는 가장 유리한 대안 1이 최적의 설계안임을 알 수 있게 된다.

따라서 퍼지신뢰성 이론에 의한 통합 가치분석의 결과에 따라 안벽의 생애주기 동안의 직접손실비용과 간접 손실비용까지 포함한 자산가치를 측정함으로써 기존의 LCC 및 VE 분석방법보다 과학적이고 합리적인 유지관리 전략을 고려한 설계 대안을 선정할 수 있을 것으로 사료된다.

4.4 호안의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석

4.4.1 적용대상의 선정

본 연구에서 제안된 의사결정 방법론인 퍼지신뢰성에 의한 LCC의 가치분석 방법론의 타당성을 검토하기 위한 세 번째 분석대상은 “OOO항 호안 축조공사”의 호안으로 선정하였으며, 호안에 대한 대안별 일반사항을 그림 4.16~19와 같이 정리하였다.

원안으로는 국내 시공경험이 풍부하고, 인접구조물과 접속시공이 용이하며, 재료확보 및 경제성이 용이하고, 친수시설과의 연계성이 우수한 MPB 호안블록식 호안으로서 그림 4.16과 같은 단면형상을 나타내고 있다.

대안 1은 상부공의 육상시공이 용이하고, 재료확보가 용이하며, 상부시설의 변화가 가능하고, 친수호안의 미적 경관성을 부여할 수 있는 MPB, G-2 호안블록식 호안으로서 그림 4.17과 같은 단면형상을 나타내고 있다. 대안 2는 상부공의 육상시공이 가능하고, 국내 시공경험이 풍부하고 재료확보가 용이하며, 인접 구조물과의 시공접근성이 우수고 재료확보 및 경제성이 용이한 G-3E형 호안블록식 호안으로서 그림 4.18과 같은 단면형상을 나타내고 있다. 대안 3은 소파형식으로 시각적 및 청각적 효과를 제공하며, 친수시설과의 접근성이 우수하고, 상부시설의 변화가 가능하며, 주변 친수구간과의 미적 조화가 우수한 IGLOO 블록식 호안으로서 그림 4.19와 같은 단면형상을 나타내고 있다.

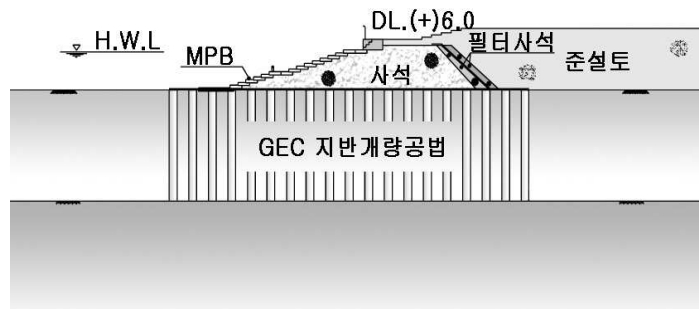


그림 4.16 MPB 호안블록식 호안 단면형상

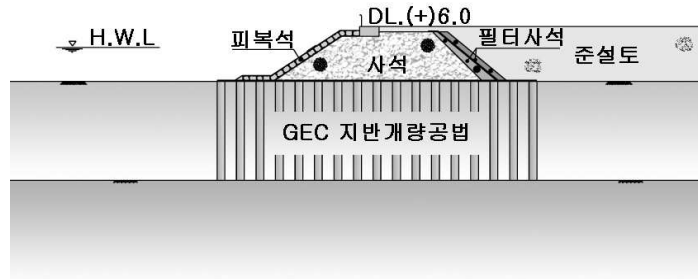


그림 4.17 MPB, G-2 호안블록식 호안 단면형상

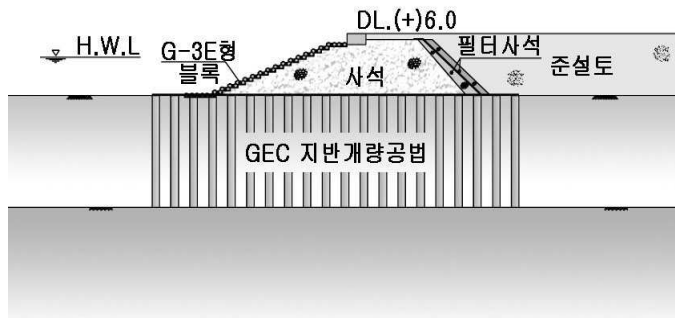


그림 4.18 G-3E형 호안블록식 호안 단면형상

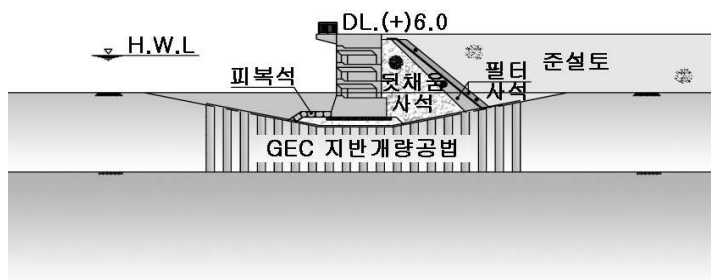


그림 4.19 IGLOO 블록식 호안 단면형상

4.4.2 정성적 평가결과 및 분석

본 대상사업의 특성을 고려하여 최적의 호안형식을 선정하기 위한 성능평가기준항목은 기술성, 사용성, 경제성, 환경성을 고려한 시공 관리성, 장래시설 연계성, 구조적 안정성, 상부 이용성, 항로간섭성, 주변시설 영향성, 원유 Buoy 영향성 및 항내 정온성으로 분류하고, 성능정의를 표 4.29에 나타내었다.

표 4.29 호안구조물의 성능평가 기준항목 선정

평가항목	성능정의
시공 관리성	◦ 시공안전성 확보 및 시공 중 피해 최소화와 최적 공사관리 시스템 구축에 의한 공기단축을 고려한 호안형식 선정
장래시설 연계성	◦ 장래 계획된 시설물과의 연계 용이성에 대한 호안형식 선정
구조적 안정성	◦ 내염해성 향상, 내구연수 증대를 위한 신뢰성 및 내염해성을 고려한 선정
상부 이용성	◦ 구조물 상부를 변화성 있는 공간으로 활용할 수 있는지 여부를 고려한 구조 선정
항로 간섭성	◦ 호안 주변을 운행하는 선박에 대한 항로 간섭을 최소화하는 방안을 고려한 호안형식 선정
주변시설 영향성	◦ 구조물의 축조에 따른 주변시설물 등에 대한 악영향성을 고려한 호안형식 선정
원유 Buoy 영향성	◦ 주변을 통과하는 원유 Buoy 저축을 최소화하는 방안을 고려한 호안형식 선정
항내 정온성	◦ 항내 정온유지가 가장 유리한 구조의 호안형식 선정

표 4.29의 성능평가기준에 대한 가중치 산정을 위하여 설계자가 대상사업의 현황 설명을 하였고, 이에 전문가 및 VE 분석자를 대상으로 설문조사가 수행되었다. 수행된 설문조사 분석결과인 성능평가 기준항목에 대한 상대적 중요도를 바탕으로 AHP 기법을 사용하여 가중치를 산정하였으며, 가중치 산정결과는 표 4.30과 같고, 호안의 품질모델과 평가항목의 가중치 비교는 그림 4.20~4.21과 같다.

표 4.30 AHP 분석에 의한 호안의 품질모델 산정결과

평가항목	A	B	C	D	E	F	G	H	가중치	확정치
A 시공 관리성	1.00	0.50	2.00	0.50	0.50	1.00	1.00	0.50	0.0886	9
B 장래시설 연계성		1.00	3.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	0.1708	17
C 구조적 안정성			1.00	0.33	0.33	0.50	0.50	0.33	0.0511	5
D 상부 이용성				1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	0.1708	17
E 항로 간섭성					1.00	2.00	2.00	2.00	0.1708	17
F 주변시설 영향성						1.00	1.00	0.50	0.0886	9
G 원유 Buoy 영향성							1.00	0.50	0.0886	9
H 항내 정온성								1.00	0.1708	17
$\lambda_{\max} = 8.015$ C.I.=0.0021 C.R.=0.0015									1.0000	100

AHP 분석결과의 일관성 검증은 Saaty가 제안한 일관성 비율인 C.R로 검증할 수 있으며, Saaty는 C.R의 값이 10% 이내인 경우에 쌍대비교 분석결과 가중치의 일관성에 무리가 없는 것으로 제안하였다.

표 30에서 C.R 값이 0.0015로서 분석결과의 일관성을 유지하고 있으며, 그림 4.21과 같이 평가항목의 가중치는 장래시설 연계성과 항로 간섭성 및 항내정온성이 17%로 중요한 평가항목의 결과로 분석되었다.

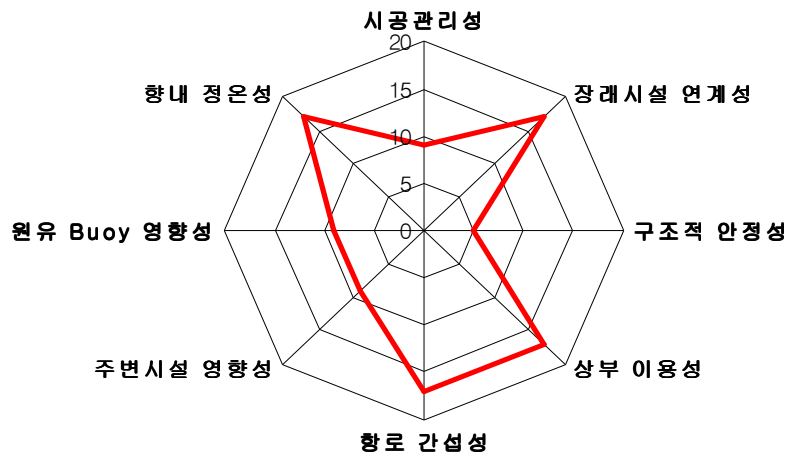


그림 4.20 호안 품질모델

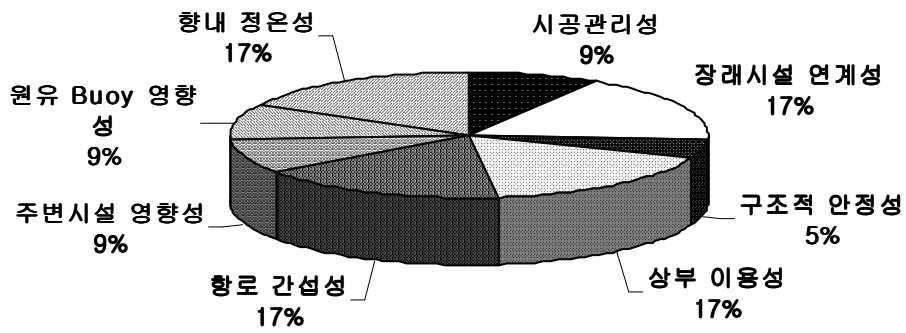


그림 4.21 호안 평가항목의 가중치

각 성능평가항목에 대한 대안별 등급점수의 산정은 우선 전문가 및 VE 분석자가 각각의 대안들에 대한 장·단점 분석을 통하여 표 4.31과 같이 등급점수를 부여하였다.

각각의 성능평가 항목에 따라 표 4.30의 품질모델 가중치와 표 4.31의 등급점수를 이용하여 대안별로 통합 VE 분석절차에 따라 대안별 기능평가를 수행하여 그 결과를 표 4.32에 나타내었다.

표 4.31 각 성능평가항목에 대한 대안별 등급

구 분	퍼지론적 방법				확정론적 방법			
	원안	대안 1	대안 2	대안 3	원안	대안 1	대안 2	대안 3
시공 관리성	9.6	7.6	7.7	7.7	10	8	8	8
장래시설 연계성	6.6	7.7	7.6	6.8	7	8	8	7
구조적 안정성	8.5	9.5	9.5	9.5	9	10	10	10
상부 이용성	8.6	8.5	9.5	9.5	9	9	10	10
항로 간섭성	6.6	9.5	7.4	9.5	7	10	7	10
주변시설 영향성	9.5	9.6	7.5	7.6	10	10	8	8
원유 BUOY 영향성	8.6	8.8	7.4	7.3	9	9	7	7
항내 정온성	7.4	9.5	9.5	9.5	7	10	10	10

표 4.32는 각 성능평가항목에 대한 대안별 기능점수를 본 연구의 퍼지론적 방법과 기존의 확률론적 방법에 따라 산정한 결과이다. 이 때 기능점수 산정에서 퍼지론적 방법은 각 성능평가항목에 대한 전문가 및 VE 분석자의 평가등급을 확률 평균치를 사용하여 퍼지로직으로 산정한 경우이고, 확정론적 방법은 각 성능평가항목에 대한 전문가 및 VE 분석자의 평가등급을 산술평균을 사용하여 가중평균으로 산정한 경우이다.

표 4.32와 같이 기능평가 결과는 대안 1이 83.3, 대안 2가 80.9, 원안은 77.3, 대안 3은 76.3의 순서로 대안 1이 가장 높게 분석되었으며, 기능향상지수인 FII가 대안 1은 9.0%, 대안 2는 6.0%, 원안은 1.0%, 대안 3은 0.0%로 대안 1이 다소 유리하게 분석되었다.

표 4.32 각 성능평가항목에 대한 대안별 기능점수

구 분	퍼지론적 방법				확정론적 방법			
	원안	대안 1	대안 2	대안 3	원안	대안 1	대안 2	대안 3
시공 관리성	6.8	7.4	7.2	6.8	8.9	7.1	7.1	7.1
장래시설 연계성	13.2	14.2	13.8	13.0	11.9	13.7	13.6	11.9
구조적 안정성	4.1	4.3	4.1	3.9	4.6	5.1	5.1	5.1
상부 이용성	13.2	14.2	13.8	13.0	15.4	15.4	17.1	17.1
항로 간섭성	13.2	14.2	13.8	13.0	11.9	17.1	11.9	17.1
주변시설 영향성	6.8	7.4	7.2	6.8	8.9	8.8	7.1	7.1
원유 BUOY 영향성	6.8	7.4	7.2	6.8	7.9	7.9	6.2	6.2
항내 정온성	13.2	14.2	13.8	13.0	11.9	17.1	17.1	17.1
합 계	77.3	83.3	80.9	76.3	81.4	92.2	85.2	88.7

각 성능평가 항목에 대한 대안별 열화성능점수의 산정은 표 4.30의 품질모델 가중치와 표 4.31의 등급점수를 이용하여 통합 VE 분석절차에 따라 대안별 열화성능평가를 수행하여 그 결과를 표 4.33에 나타내었다.

표 4.33과 같이 본 연구의 퍼지론적 방법으로 분석한 결과는 대안 1은 82.9, 대안 2는 81.0, 원안은 78.7, 대안 3은 78.2의 순으로 대안 1이 가장 높게 분석되었으며, 확정론적 방법에 의한 결과는 대안 1이 81.2로 가장 높게 분석되어 퍼지론적 방법과 유사한 결과를 나타내고 있다.

표 4.33 각 성능평가항목에 대한 대안별 열화성능점수

구 분	퍼지론적 방법				확정론적 방법			
	원안	대안 1	대안 2	대안 3	원안	대안 1	대안 2	대안 3
시공 관리성	6.9	7.3	7.2	6.9	6.8	7.2	6.9	7.1
장래시성 연계성	13.5	14.2	13.8	13.3	13.1	13.9	13.4	13.6
구조적 안정성	4.0	4.2	4.2	4.0	3.9	4.2	4.0	4.1
상부 이용성	13.5	14.2	13.8	13.4	13.2	13.9	13.5	13.7
항로 간섭성	13.5	14.2	13.8	13.4	13.2	13.9	13.5	13.7
주변시설 영향성	6.9	7.3	7.2	6.9	6.8	7.2	6.9	7.1
원유 Buoy 영향성	6.9	7.3	7.2	6.9	6.8	7.2	6.9	7.1
항내 정온성	13.5	14.2	13.8	13.4	13.2	13.9	13.5	13.7
합 계	78.7	82.9	81.0	78.2	77.0	81.4	78.6	80.1

특히 퍼지론적 방법에 있어 성능향상지수의 분석결과는 대안 1이 6.0%, 대안 2는 4.0%, 원안은 1.0%, 대안 3은 0.0%의 순서로서 대안 1이 열화성능평가에서 다소 유리함을 알 수 있다.

각각의 성능평가항목에 대한 평가결과는 장래시설 연계성이 14.2, 상부 이용성이 14.2, 항로 간섭성이 14.2, 항내 정온성이 14.2로 중요한 평가항목 나타났다.

4.4.3 정량적 평가결과 및 분석

본 연구에서는 적용대상 호안의 정량적 평가에 있어, LCC 분석을 위한 기본적인 데이터인 대안별 유지관리 물량은 설계된 대안에 대하여 물량을 산출하여 분석하였고, 단위유지관리비용 및 각종 주기 관련 데이터는 항만공사에서 수행한 연구 자료의 데이터를 활용하였다.

본 절은 적용대상 호안의 정량적 평가결과로서, 전술한 호안의 LCC 분석모델에 따라 퍼지론적 LCC 분석을 수행하였고, 퍼지신뢰성 해석에 기초한 LCC 결과 값을 대안별로 비교하여 표 4.34에 나타내었다. 이 때 직접 손실비용 및 간접 손실비용은 생애주기 동안 4번의 유지관리 조치를 취하는 것으로 산정하였다.

표 4.34와 같이 호안의 대안별 상대 LCC 지수 분석결과는 원안이 1.00, 대안 1은 1.09, 대안 2는 1.40, 대안 3은 1.25로서 원안이 LCC 분석측면에서 가장 경제적인 것으로 나타났고, 비용절감지수인 CII 분석결과는 원안이 29.0%, 대안 1은 21.0%, 대안 2는 0.0%, 대안 3은 11.0%로서 각각 분석되어 원안이 다른 대안에 비해 가장 경제적인 것으로 분석되었다.

표 4.34 대안별 LCC 분석결과

구 분		LCC 분석결과 (단위 : 억원)			
		원안	대안 1	대안 2	대안 3
직접 손실비용	초기 투자비용	3,285	3,674	4,688	4,087
	유지관리 및 교체비용	131	115	163	169
간접 손실비용		361	317	451	465
LCC 합계		3,777	4,106	5,302	4,721
상대 LCC 지수		1.00	1.09	1.40	1.25

표 4.35는 호안의 성과측정 및 경제성 평가결과를 보여주고 있다. 호안의 성과측정 평가는 신규투자대비 회수배율 1안을 분석한 결과는 원안에서는 원안이 0.46배, 대안 1은 0.33배, 대안 3은 0.14배, 대안 2에서는 HI1이 0.0배의 순으로 분석되었다.

신규투자비용의 차 대비 회수배율 2안을 분석한 결과는 대안 2가 1.18배, 원안에서는 1.09배, 대안 3은 0.97배, 대안 2는 0.0배의 순으로 분석되었다.

또한 대안별 경제성평가인 ECI 결과는 원안은 28.8%, 대안 1은 22.5%, 대안 3에서는 11.0%, 대안 2는 0.0%의 순으로 분석되었으며 원안이 경제성측면에서 가장 우수하게 나타났다.

표 4.35 호안의 성과측정 및 경제성 평가 분석결과

구 분		원안	대안 1	대안 2	대안 3
퍼지론적 방법	대안별 LCC차	1,526	1,195	0.00	581
	회수배율 1안	0.46	0.33	0.00	0.14
	회수배율 2안	1.09	1.18	0.00	0.97
	경제성 평가	28.8	22.5	0.00	11.0
확률론적 방법	대안별 LCC차	1566	1240	0.00	731
	회수배율 1안	0.48	0.34	0.00	0.18
	회수배율 2안	1.16	1.22	0.00	1.22
	경제성 평가	29.2	23.1	0.00	13.6
주) 대안 2의 대안별 성과측정 및 경제성 평가는 표 3.6의 계산식에 의해 0으로 산정됨 $DLCC = LCC_{\max} - LCC_{alt} = 2,113,820 - 2,113,820 = 0$ $\text{경제성 평가(ECI)} = 100\% - (LCC_{alt} / LCC_{\max}) * 100 = 100 - (2,113,820 / 2,113,820) * 100 = 0$					

4.4.4 퍼지신뢰성 평가결과 및 분석

호안에 대한 대안별로 정성적 및 정량적 평가결과를 바탕으로 최적의 설계안을 선정하기 위한 퍼지신뢰성 해석의 수행모델에서 제시한 열화성능함수를 사용하여 퍼지신뢰성 해석을 수행한 결과는 표 4.36과 같다.

표 4.36과 같이 확률론적 방법에 따른 신뢰성지수의 값은 대안 1은 2.76, 대안 2는 2.71, 원안에서는 2.63. 대안 3에서는 2.61로 분석되었으며, 퍼지론적 방법에 있어 대안별로 상태등급 평가를 위한 퍼지신뢰성 지수의 값은 대안 1에서는 2.64, 대안 2는 2.56, 원안은 2.45, 대안 3은 2.42로 나타나 대안 1이 가치창출에 있어서 가장 유리함을 확률론적 방법과 퍼지론적 방법의 결과에서 동일하게 확인할 수 있다.

표 4.36 대안별 퍼지신뢰성 해석의 결과

구 분	해석방법	호안의 대안별 신뢰성지수			
		원안	대안 1	대안 2	대안 3
확률론적 방법	Kanda 해석방법	2.63	2.76	2.71	2.61
퍼지론적 방법	언어정보 해석방법	2.45	2.64	2.56	2.42

구조성능함수를 고려한 퍼지신뢰성 해석에 따른 미래에 발생할 대안 설계안별 호안의 신뢰성 및 유지관리 전략을 분석한 결과를 표 4.37에 정리하였다.

표 4.37의 대안별 신뢰성 및 유지관리전략 분석결과를 살펴보면 대안 1의 유지관리 전략측면에서 가장 유리하게 도출되고 있으며, 이와 같은 분석을 통해 보다 합리적인 유지관리전략을 수립할 수 있을 뿐만 아니라 경제적측면의 가치창출을 도모할 수 있을 것으로 분석된다.

보수·보강을 포함한 항만구조물의 유지관리는 계획수립과 시행주기에 따라 구조물의 안전성과 사용성 및 경제성측면에서 결과적으로 커다란 차이를 나타내며, 사후 또는 예방 유지관리수준에 따라 항만구조물의 내구년한 즉, 교체시점이 크게 달라질 수 있다.

따라서 항만구조물의 VE/LCC 분석에 있어 AHP 분석결과와 성능평가를 수행하여 대안별 가치점수로 VE/LCC 분석을 수행하는 확정론적 분석방법으로는 생애주기 동안

에 발생하는 구조적 또는 물리적 열화성능에 대한 유지관리전략을 수립하기에 어려움이 있다. 반면에 퍼지신뢰성 해석에 의한 VE/LCC 분석방법은 열화성능을 고려한 신뢰성 평가곡선과 통합 가치분석을 위한 평가지표를 미리 예측할 수 있기 때문에 경제성측면에서 보다 합리적인 방법으로 분석된다.

표 4.37 대안별 신뢰성 및 유지관리전략 분석결과 비교

구 분	원안	대안 1	대안 2	대안 3
보수·보강전의 잔여수명(년)	5.2	8.7	7.1	4.7
보수·보강후의 잔여수명(년)	26.3	29.2	27.9	25.9
잔여수명의 증가분(년)	21.1	20.5	20.8	21.2
보유 구조성능지수	0.789	0.829	0.812	0.782
손상 신뢰성지수	2.45	2.64	2.56	2.42
손상 파괴확률	0.0070	0.0042	0.0052	0.0077
1차보수시기(년)	26.3	29.2	27.9	25.9
2차보수시기(년)	47.4	49.7	48.7	47.1
3차보수시기(년)	68.6	70.1	69.4	68.3

본 연구에서 제안한 퍼지신뢰성 이론에 의한 의사결정 방법론 및 평가지표에 의해 수행된 호안의 대안별 통합 가치분석을 위한 평가지표 산정결과를 표 4.38에 나타내었고, 대안별 가치점수 및 가치향상지수의 산정결과를 표 4.39~40에 나타내었다.

표 4.39~40과 같이 퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석에 따른 호안의 가치지수(VI)는 원안, 대안 1, 대안 3 및 대안 2의 순으로서 각각 100.9, 97.5, 79.7 및 74.0으로 원안이 우수하게 분석되었고, 가치향상지수(VII)는 대안 2의 최소치 대비 원안이 36.0%, 대안 1이 32.0%, 대안 3이 8.0%로 각각 향상된 것으로 분석되었다.

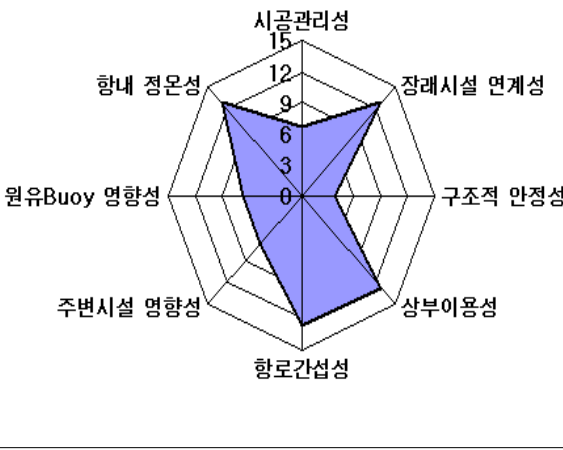
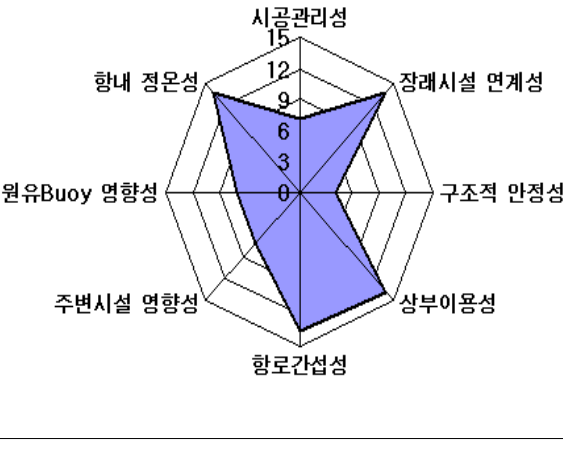
표 4.38 통합 가치분석을 위한 평가지표 산정결과

구 분	퍼지론적 방법			
	원안	대안 1	대안 2	대안 3
기능지수	0.773	0.833	0.809	0.763
상대 기능지수	1.01	1.09	1.06	1.00
기능향상지수	0.01	0.09	0.06	0.00
상태지수	0.501	0.395	0.439	0.520
상대 상태지수	0.96	0.76	0.84	1.00
상태향상지수	0.04	0.24	0.16	0.00
열화성능지수	0.787	0.829	0.810	0.782
상대 성능지수	1.01	1.06	1.04	1.00
성능향상지수	0.01	0.06	0.04	0.00
LCC 지수	3,777	4,106	5,302	4,721
상대 LCC 지수	1.00	1.10	1.40	1.25
비용절감지수	0.29	0.21	0.00	0.11
가치지수	1.009	0.975	0.740	0.800
상대 가치지수	1.36	1.32	1.00	1.08
가치향상지수	0.36	0.32	0.00	0.08

표 4.39 호안의 원안·대안 1 가치점수 및 가치향상지수

원안 : MPB 호안블록식 호안		
구 분	V.I	Value Diagram
시공 관리성	8.9	
장래시설 연계성	17.2	
구조적 안정성	5.3	
상부 이용성	17.2	
항로 간섭성	17.2	
주변시설 영향성	8.9	
원유 Buoy 영향성	8.9	
항내 정온성	17.3	
합 계	100.9	
대안 1 : MPB, G-2형 호안블록식 호안		
구 분	V.I	Value Diagram
시공 관리성	8.6	
장래시설 연계성	16.6	
구조적 안정성	5.0	
상부 이용성	16.7	
항로 간섭성	16.7	
주변시설 영향성	8.6	
원유 Buoy 영향성	8.6	
항내 정온성	16.7	
합 계	97.5	

표 4.40 호안의 대안 2·대안 3 가치점수 및 가치향상지수

대안 2 : G-3E형 호안블록식 호안		
구 분	V.I	Value Diagram
시공 관리성	6.6	
장래시설 연계성	12.6	
구조적 안정성	3.8	
상부 이용성	12.6	
항로 간섭성	12.6	
주변시설 영향성	6.6	
원유 Buoy 영향성	6.6	
항내 정온성	12.6	
합 계	74.0	
대안 3 : IGLOO 블록식 호안		
구 분	V.I	Value Diagram
시공 관리성	7.1	
장래시설 연계성	13.7	
구조적 안정성	4.1	
상부 이용성	13.6	
항로 간섭성	13.6	
주변시설 영향성	7.1	
원유 Buoy 영향성	7.1	
항내 정온성	13.7	
합 계	80.0	

4.4.5 호안의 VE/LCC 분석 종합결과

호안의 형식 선정 시 열화성능함수를 고려한 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석모델을 이용하여 대안별로 통합 가치평가를 수행하였으며, 그 결과를 종합하여 정리하면 표 4.41과 같다.

표 4.41 호안의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석 종합결과

구 분		퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석 종합결과			
		원안 : MPB 호안블럭식	대안 1 : MPB, G-2 호안블럭식	대안 2 : G-3E형 호안블럭식	대안 3 : IGLOO 블럭식
정성적 분석	기능점수	77.3	83.3	80.9	76.3
	열화성능점수	78.7	82.9	81.0	78.2
정량적 분석	상대 LCC 지수	1.00	1.09	1.40	1.25
퍼지신뢰성 분석	신뢰성지수	2.45	2.64	2.56	2.42
	가치향상지수	36.0%	32.0%	0.0%	8.0%
종합 평가		최적안			

호안의 대안별 퍼지신뢰성 이론에 의한 VE/LCC 분석결과는 표 4.41과 같이 정성적 분석에서는 대안 1이 다른 대안에 비해 기능 및 열화성능측면에서 비교적 우수하게 나타난 반면, 정량적 분석에서는 원안이 LCC 측면에서 비교적 우수하게 나타났다.

또한 최종적인 퍼지신뢰성에 의한 가치분석 결과에서는 원안의 가치향상지수가 다른 대안에 비해 높게 나타나 기능 및 열화성능측면에서는 다소 불리하나 LCC 측면에서 우수한 원안을 가장 유리한 대안으로 설계 제안할 수 있게 된다.

이와 같이 퍼지신뢰성 해석에 의한 VE/LCC 분석방법은 열화성능을 고려한 LCC 비용과 통합 가치분석을 통해 최적의 설계안을 산정할 수 있기 때문에 기존의 확정론적 VE/LCC 분석방법에 비해 보다 합리적인 방법으로 사료된다.

제5장 분석 및 고찰

5.1 분석조건 및 범위

전술한 제 4장의 항만구조물에 대한 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석모델의 적용 결과를 토대로 본 장에서는 가치 및 생애주기비용 평가와 관련된 표 5.1과 같은 내용의 분석 및 고찰을 수행하고자 한다.

표 5.1 항만구조물에 대한 VE/LCC 적용결과에 대한 분석 및 고찰내용

구 분	분석 및 고찰내용	비 고
모델 분석	퍼지신뢰성 해석모델 분석	
경제성 분석 (LCC 분석)	보유성능함수를 통한 생애주기 프로파일 분석	사후 및 예방 유지관리수준
	퍼지신뢰성지수를 통한 생애주기 프로파일 분석	유지관리수준
	상대가치지수를 이용한 자산가치 분석	사후 및 예방
	LCC 지수를 이용한 생애주기비용 분석	유지관리수준
가치 분석 (VE 분석)	퍼지로직에 따른 성능 및 가치평가 분석	
	퍼지신뢰성 이론에 의한 LCC 및 통합 가치분석	

표 5.1과 같이 항만구조물의 VE/LCC 분석 및 고찰에 있어 먼저 퍼지신뢰성 이론에 의한 VE/LCC 분석모델에 대한 분석을 수행하고, 다음으로는 퍼지신뢰성지수와 보유성능함수를 이용한 생애주기 프로파일 분석을 하였으며, 상대가치지수를 이용한 자산가치 분석 및 LCC 지수를 이용한 생애주기비용 분석을 하였다.

마지막으로 퍼지로직에 따른 성능 및 가치평가와 퍼지신뢰성에 의한 통합가치에 대한 분석을 수행하였다.

5.2 방파제의 VE/LCC 분석

5.2.1 퍼지신뢰성 해석모델 분석

그림 5.1~5.4는 방파제에 대해 전문가 및 VE 분석자의 언어적 정보, 즉 수치적 정보($c=3.0$), 낙관적 정보($c=2.5$), 평균적 정보($c=1.3$) 및 보수(비관)적 정보($c=0.85$)로 산정되는 대안별 파괴가능성을 비교 분석하였다.

대안별로 모두가 수치적 정보, 낙관적 정보, 평균적 정보, 보수적 정보의 순으로 파괴발생확률이 1에 가까워짐을 알 수 있으며, 전술한 4장의 적용에서는 전문가 및 VE 분석자의 평균적 정보를 통해서 방파제에 대한 대안별 각종 가치평가지표를 산정하였다. 이와 같이 본 연구의 모델은 전문가 및 VE 분석자가 주관적 신뢰성 해석에서 사용되는 파괴가능성의 값을 정량적으로 객관화시킬 수 있어 최적대안에 따른 각종 가치지표를 선정하는데 매우 유용하게 이용할 수 있다.

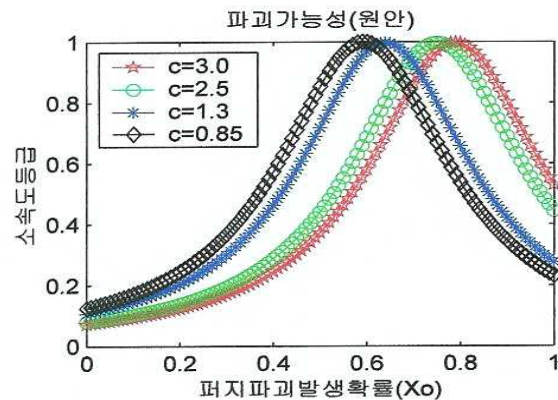


그림 5.1 언어적 정보에 따른 방파제의 원안 파괴가능성

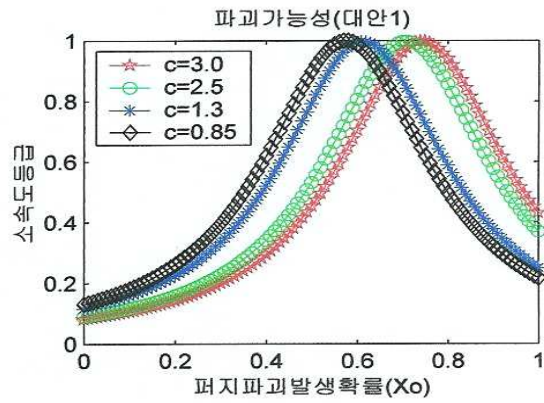


그림 52 언어적 정보에 따른 방파제의 대안1 파괴가능성

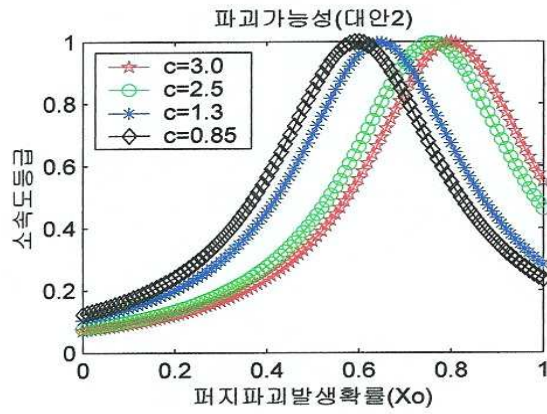


그림 53 언어적 정보에 따른 방파제의 대안2 파괴가능성

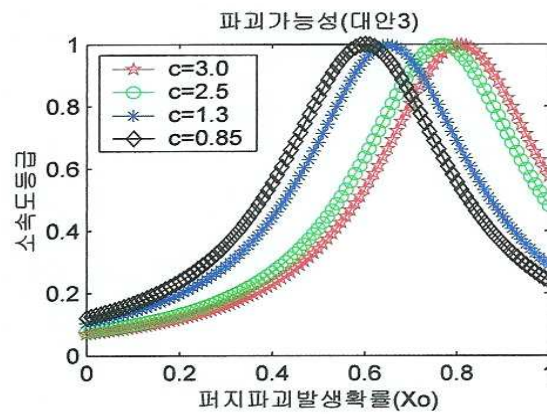


그림 54 언어적 정보에 따른 방파제의 대안3 파괴가능성

5.2.2 사후 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석

그림 5.5와 같이 1회 유지관리인 보수조치를 취했을 때 방과제의 사후 유지관리수준의 생애주기 프로파일을 보유성능함수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다.

보유성능함수는 방과제의 주요구조부재에 대한 휨강도로 산정하였고, 유지관리 조치 전후의 보유성능지수와 공용년수의 함수관계를 각 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

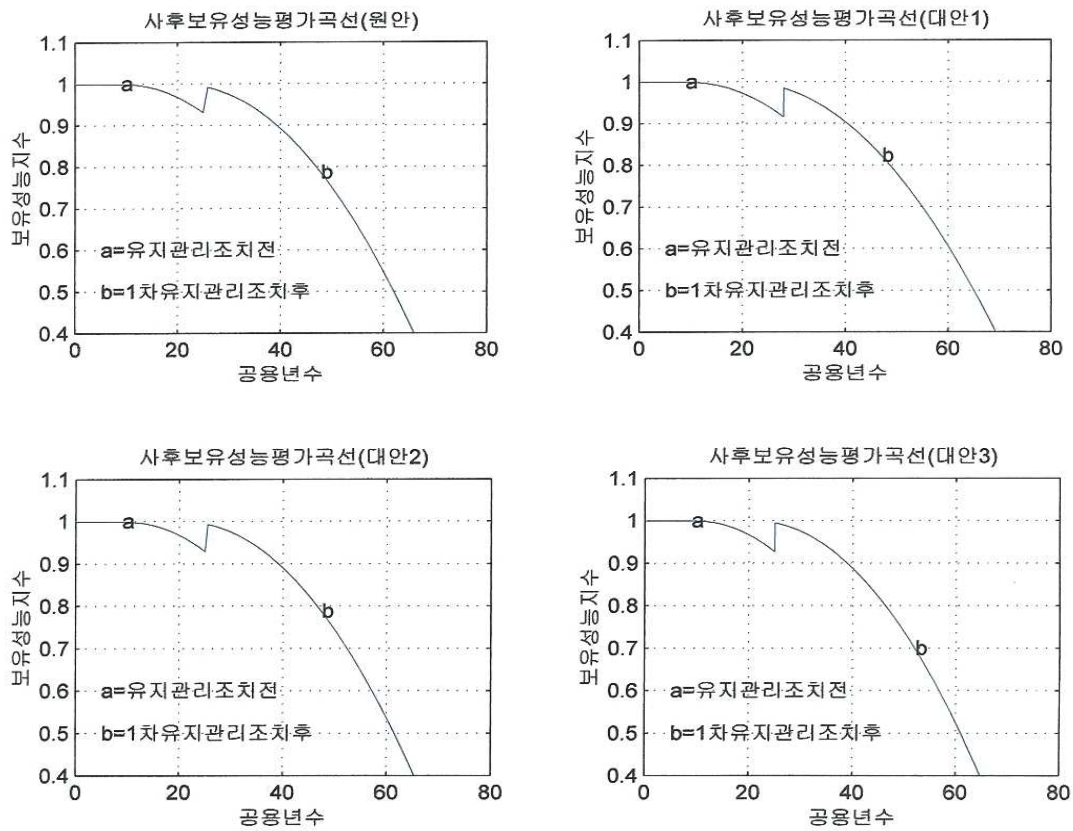


그림 5.5 방과제의 1회 사후 유지관리 대안별 LCP

그림 5.6과 같이 4회 유지관리인 보수조치를 취했을 때 방파제의 사후 유지관리수준의 LCP를 퍼지신뢰성지수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다. 이때 퍼지신뢰성지수는 방파제의 주요구조부재에 대한 휨강도의 불확실량으로 산정하였고, 유지관리 조치 전과 1차, 2차 및 3차 유지관리 조치후의 신뢰성지수와 공용년수의 함수관계를 각 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 분석된다.

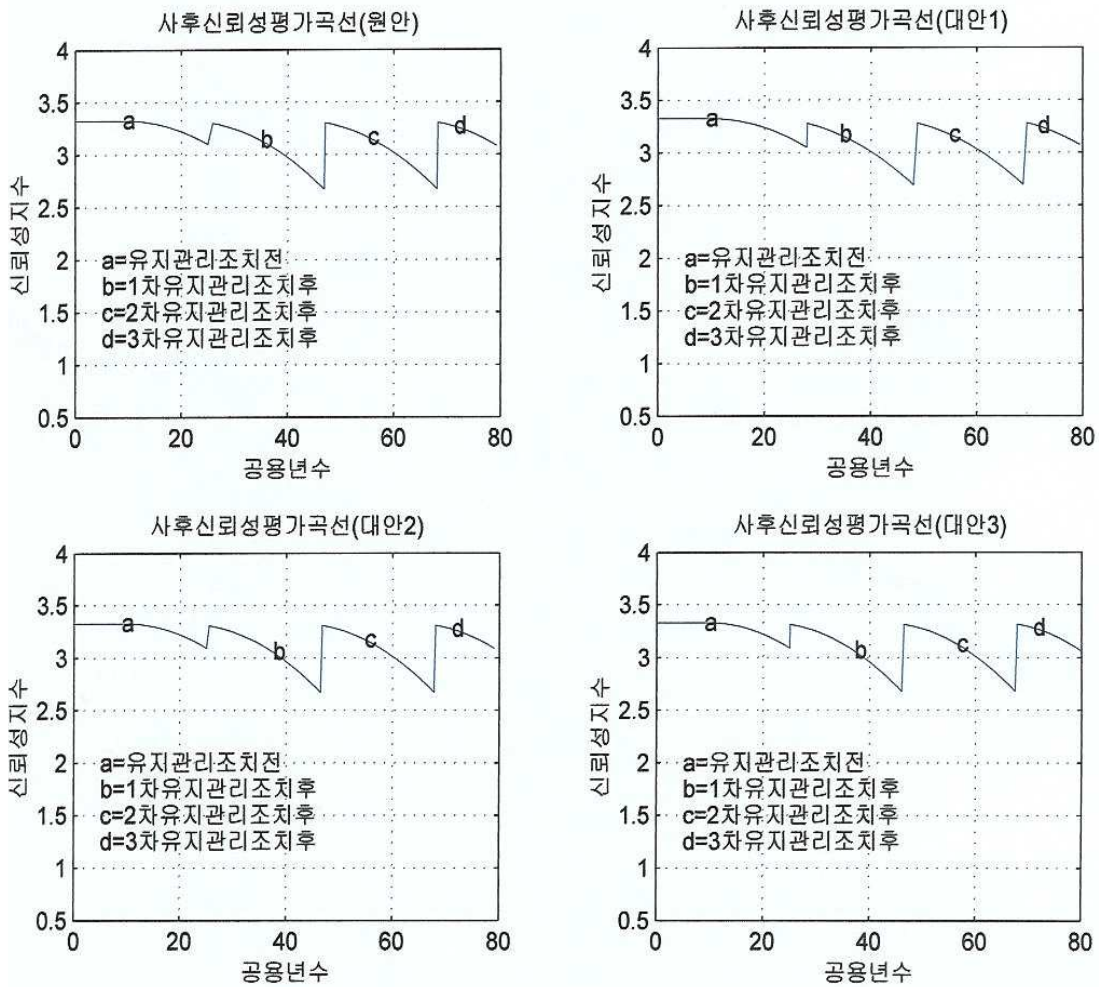


그림 5.6 방파제의 4회 사후 유지관리 대안별 LCP

5.2.3 예방 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석

그림 5.7과 같이 1회 유지관리인 보수조치를 취했을 때 방과제의 예방 유지관리수준의 LCP는 보유성능함수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다. 이 때 보유성능함수는 방과제의 주요구조부재에 대한 휨강도로 산정하였고, 유지관리 조치 전후의 보유성능지수와 공용년수의 함수관계를 각 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 분석된다.

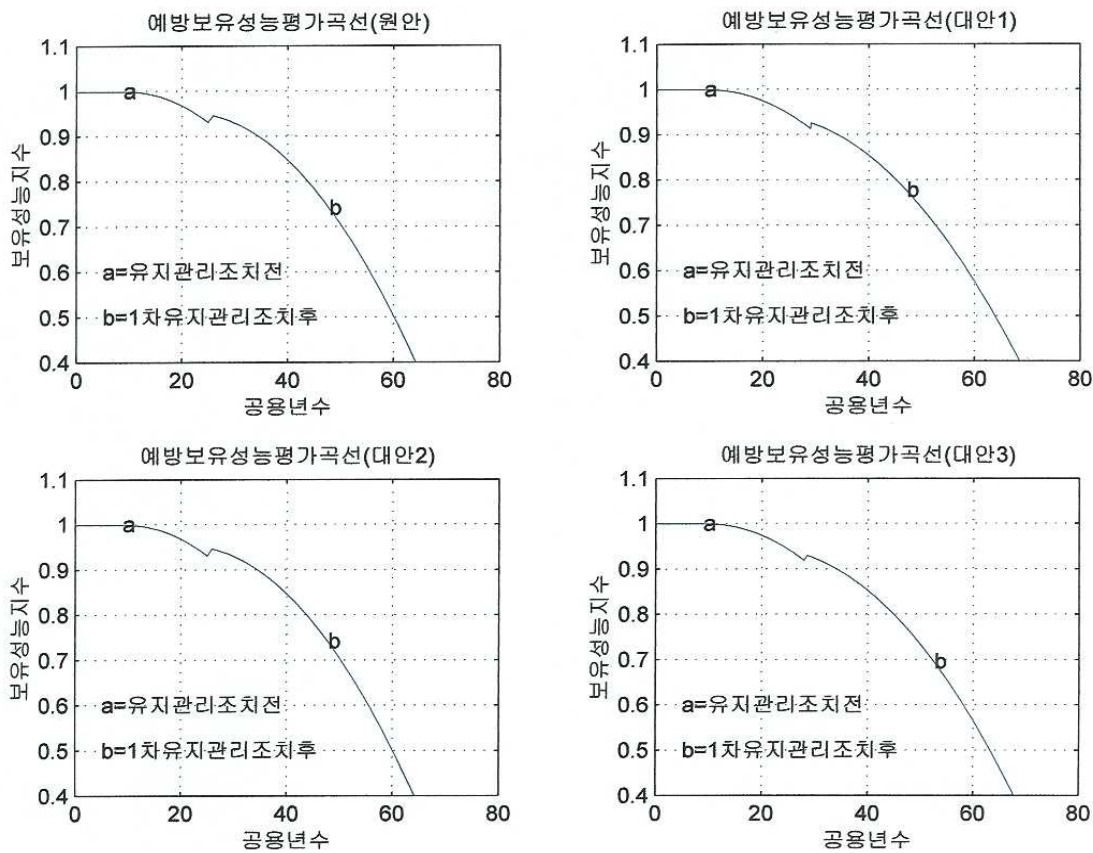


그림 5.7 방과제의 1회 예방 유지관리 대안별 LCP

그림 5.8과 같이 4회 유지관리인 보수조치를 취했을 때 방파제의 예방 유지관리수준의 LCP는 퍼지신뢰성지수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다.

이때 퍼지신뢰성지수는 방파제의 주요 구조부재에 대한 휨강도의 불확실량으로 산정하였고, 유지관리 조치 전과 1차, 2차 및 3차 유지관리 조치후의 신뢰성지수와 공용년수의 함수관계를 각 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

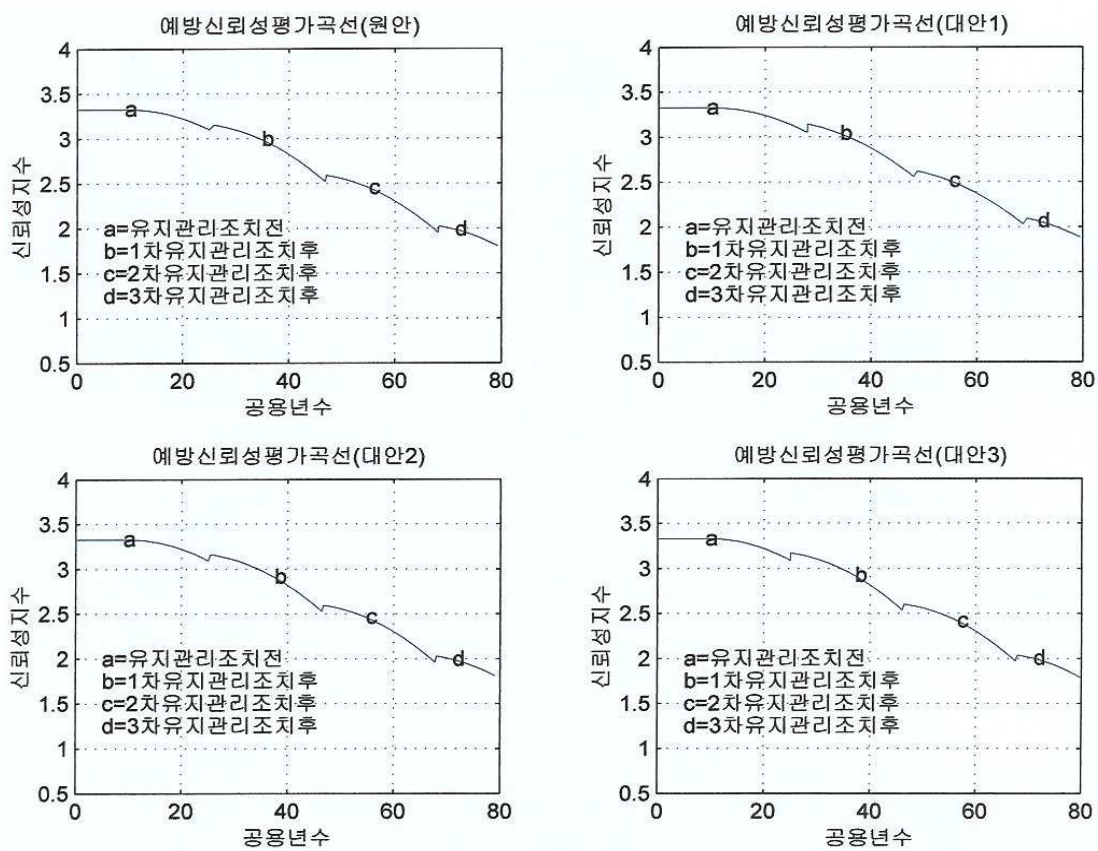


그림 5.8 방파제의 4회 예방 유지관리 대안별 LCP

5.2.4 사후 유지관리를 통한 자산가치 분석

그림 5.9와 같이 방파제의 열화성능평가와 유지관리수준별 설계 VE 시의 생애주기 동안의 시간의존적 자산가치를 사후 유지관리를 통한 대안별로 비교 평가하여 나타낸 것이다.

확정적 방법과 퍼지론적 방법으로 산정한 생애주기 동안의 자산가치 지수는 거의 비슷하였고, 대안 1과 원안, 대안 3 및 대안 2의 순으로 산정되었으며, 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

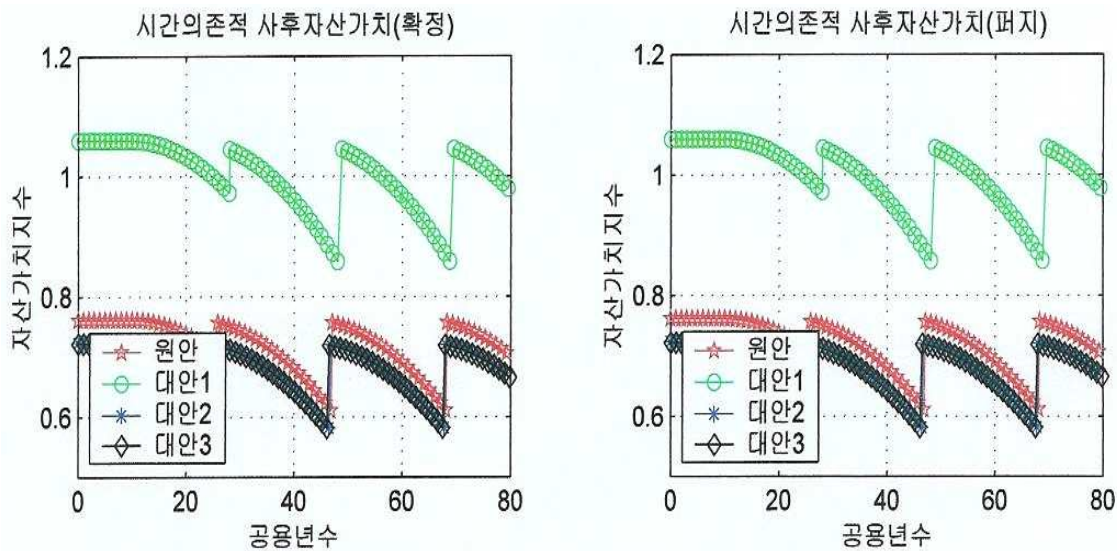


그림 5.9 방파제의 사후 유지관리 대안별 자산가치

5.2.5 예방 유지관리를 통한 자산가치 분석

그림 5.10과 같이 방파제의 열화성능평가와 유지관리수준별 설계 VE 시의 생애주기 동안의 시간의존적 자산가치를 예방 유지관리를 통한 대안별로 비교 평가하여 나타낸 것이다.

확정적 방법과 퍼지론적 방법으로 산정한 생애주기 동안의 자산가치 지수는 거의 비슷하였고, 대안 1과 원안, 대안 3 및 대안 2의 순으로 산정되었으며, 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

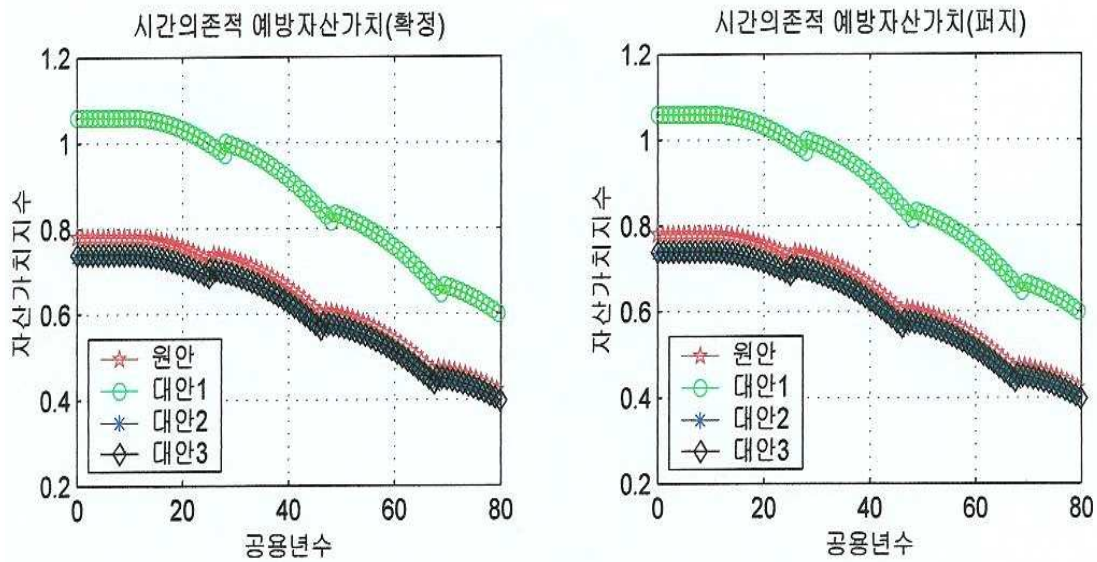


그림 5.10 방파제의 예방 유지관리 대안별 자산가치

5.2.6 퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석

그림 5.11~5.13은 방과제의 대안별로 성능평가 기준항목에 따라 퍼지로직의 절차에 의해 기능평가와 성능평가 및 가치평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

그림 5.11과 같이 방과제의 대안별 평가항목에 따른 기능평가 결과는 대안 1이 89.1, 원안은 83.2, 대안 2는 81.7, 대안 3은 80.4의 순으로 산정되었으며, 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

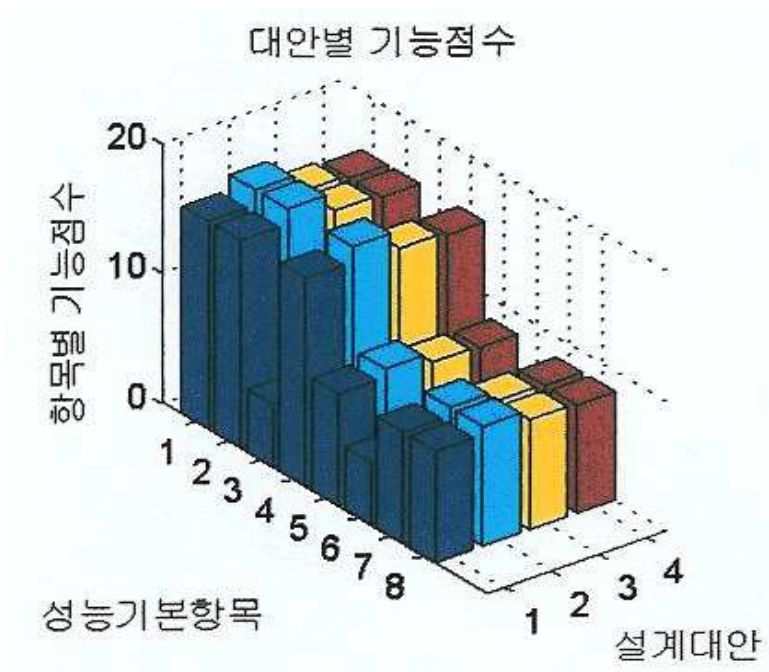


그림 5.11 방과제의 대안별 기능점수의 평가

대안 1의 성능평가 기준항목별 기능점수는 반사과제한성이 17.1, 시공적정성이 17.1, 사용편리성이 5.1, 유지관리용이성이 17.1, 초기비용경제성이 9.2, 경관우수성이 5.1, 향로영향성이 9.2, 생태조화성이 9.2로 우수하게 평가되었다.

그림 5.12와 같이 방과제의 대안별 성능평가 기준항목에 따라 퍼지로직의 절차에 의하여 방과제의 대안별 성능평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

방과제의 대안별 열화성능점수를 평가한 결과는 대안 1은 78.7, 원안은 75.7, 대안 2는 75.7, 대안 3은 74.6의 순으로 산정되었으며, 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

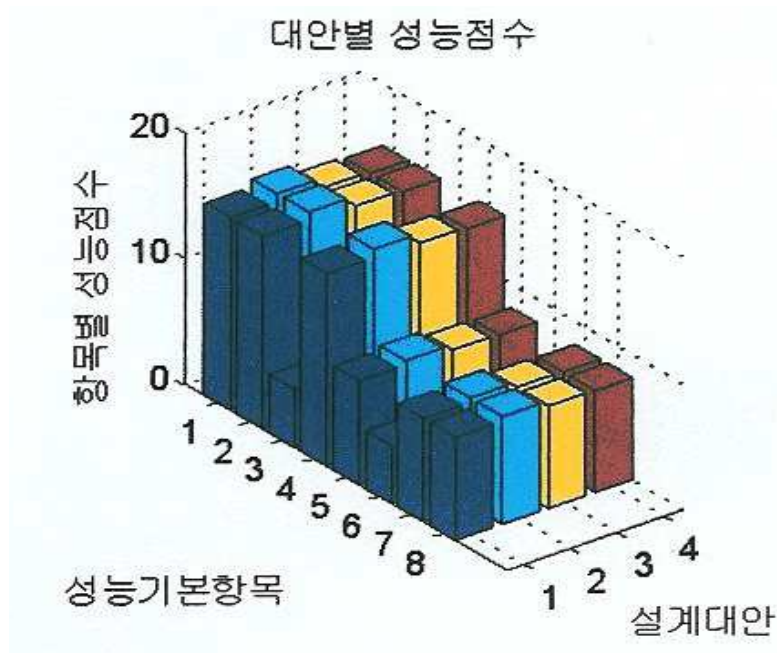


그림 5.12 방과제에 대한 대안별 성능점수의 평가

대안 1의 성능평가 기준항목별 성능점수는 반사파제한성이 15.1, 시공적정성이 15.1, 사용편리성이 4.5, 유지관리용이성이 15.2, 초기비용경제성이 8.1, 경관우수성이 4.5, 향로영향성이 8.1, 생태조화성이 8.1로 우수하게 평가되었다.

그림 5.13과 같이 성능평가 기준항목에 따라 퍼지로그의 절차에 의하여 방파제의 대안별 가치평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

대안별 가치평가를 수행한 결과 대안 1이 106.1, 대안 3이 91.4, 원안이 90.4, 대안 2가 88.7의 순으로 산정되었으며, 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.



그림 5.13 방파제의 대안별 가치점수의 평가

대안 1의 성능평가 기준항목별 가치점수는 반사파제한성이 20.4, 시공적정성이 20.4, 사용편리성이 6.1, 유지관리용이성이 20.3, 초기비용경제성이 10.9, 경관우수성이 6.1, 향로영향성이 10.9, 생태조화성은 10.9로 우수하게 평가되었다.

그림 5.14~5.16은 방과제의 대안별 보수·보강 전후 잔여수명의 평가, 유지관리조치 시기와 신뢰성지수의 평가 및 유지관리조치시기와 공용년수의 평가를 비교하여 나타낸 것이다.

그림 5.14와 같이 퍼지신뢰성 지수의 값으로 잔여수명을 추정한 결과는 보수·보강 전의 잔여수명은 대안 1이 10.2년, 원안은 7.7년, 대안 2는 7.2년, 대안 3은 6.7년 순이고, 보수·보강 후의 잔여수명은 대안 1이 31.3년, 원안은 29.2년, 대안 2는 28.8년, 대안 3은 28.5년의 순으로 분석되었다.

따라서 잔여수명의 증가분은 원안은 21.5년, 대안 1이 21.1년, 대안 2는 21.6년, 대안 3은 21.8년으로 결과가 분석이 되어 대안 1이 잔여수명측면에서 보다 유리함을 알 수 있다.

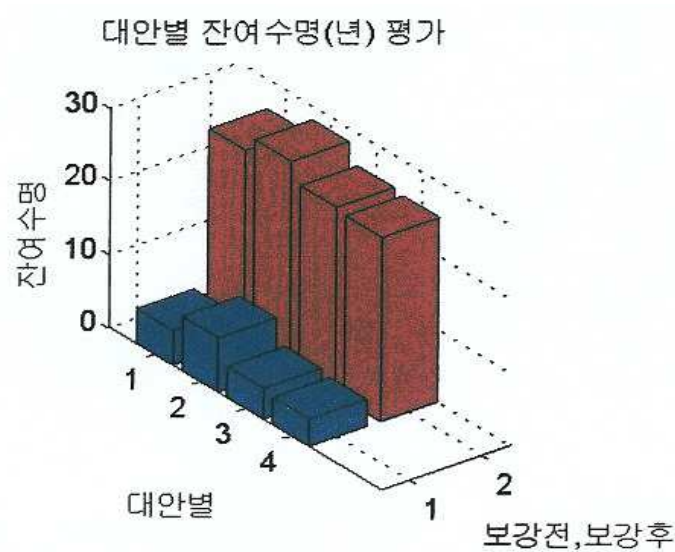


그림 5.14 방과제의 대안별 보수·보강 전후 잔여수명의 평가

그림 5.15와 같이 대안별 유지관리 조치시기에 있어 1차 유지관리 조치는 대안 1이 31.3년, 원안은 29.2년, 대안 2는 28.8년, 대안 3은 28.5년의 순으로 분석되었다.

2차 유지관리 조치는 대안 1이 52.4년, 원안은 50.7년, 대안 2는 50.4년, 대안 3은 50.1년의 순이며, 3차 유지관리 조치는 대안 1이 73.6년, 원안은 72.2년, 대안 2는 71.9년, 대안 3은 71.7년의 순으로 추정되었으며, 유지관리조치 1, 2, 3차에서 모두 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었다.

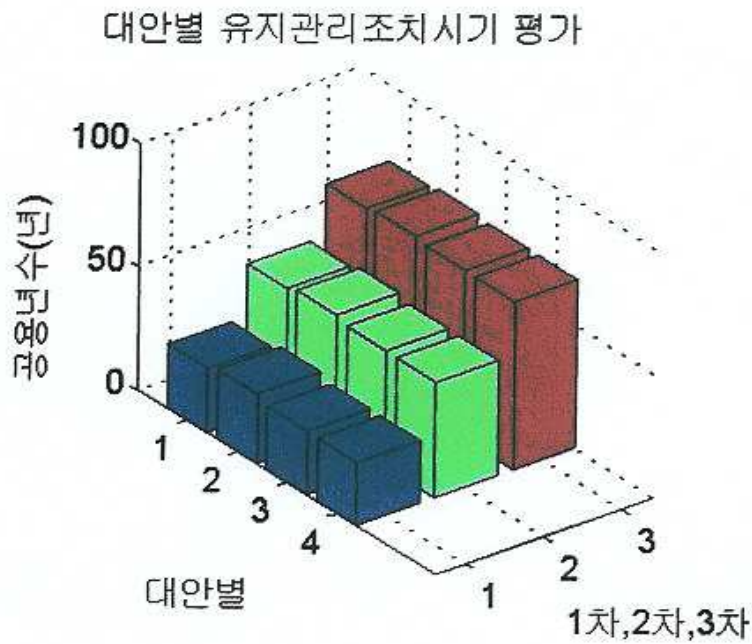


그림 5.15 방파제의 대안별 유지관리 조치 시기에 따른 공용년수의 평가

그림 5.16과 같이 대안별 성능지수를 통해 신뢰성 해석을 수행한 결과, Kanda의 해석방법에 의해 산정된 신뢰성지수는 대안 1, 원안, 대안 2, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 2.50, 2.34, 2.31, 2.27이고, 본 연구의 방법에 의한 퍼지신뢰성 지수는 대안 1, 원안, 대안 2, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 2.46, 2.30, 2.27, 2.24로 산정되었으며, 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

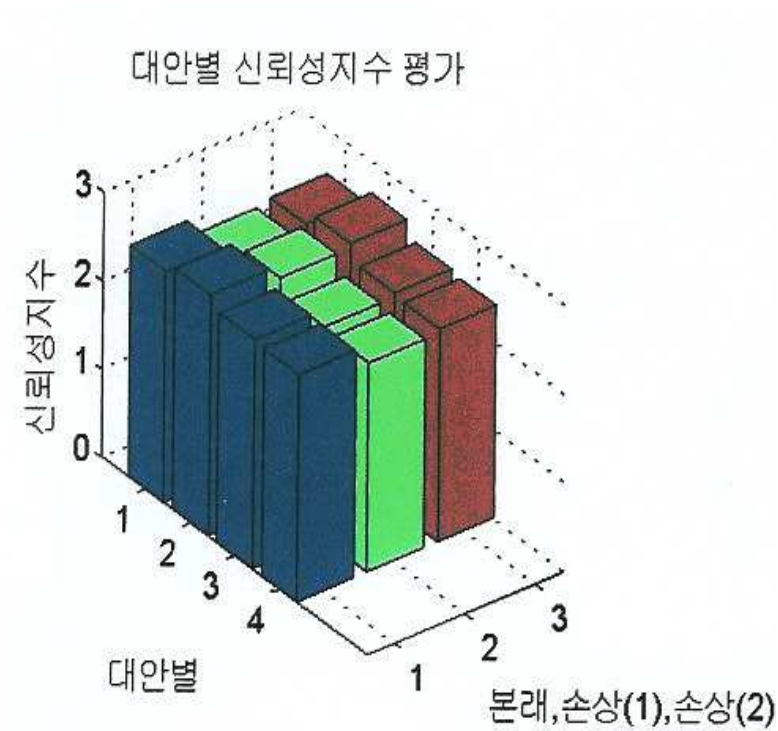


그림 5.16 방파제의 대안별 유지관리 조치 시기에 따른 신뢰성지수의 평가

그림 5.17과 같이 대안별 경제성 분석결과는 대안1이 12.0%, 대안 3은 4.0%, 원안은 1.0%, 대안2는 0.0%의 순으로 대안 1이 가장 경제적인 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

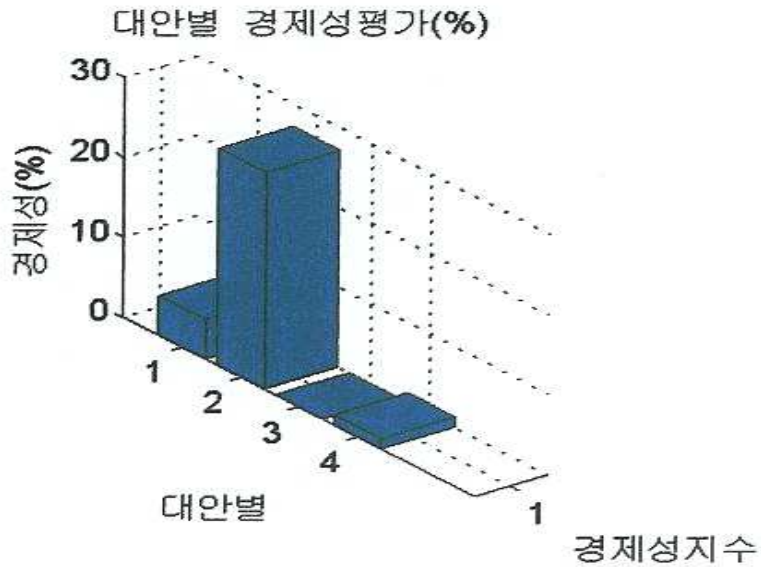


그림 5.17 방과제의 대안별 경제성 평가

그림 5.18과 같이 대안별 방과제의 상태지수는 대안 1, 원안, 대안 2, 대안 2의 순으로 그 값은 각각 0.433, 0.520, 0.537, 0.557이며, 기능지수는 대안 1, 원안, 대안 2, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 0.891, 0.832, 0.817, 0.804이고, 성능지수는 대안 1, 원안, 대안 2, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 0.787, 0.757, 0.757, 0.746으로 산정되었다.

퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석을 위한 대안별 평가지표 산정결과에서 상대향상지수의 대안 1은 22.0%, 원안은 7.0%, 대안 2는 4.0%, 대안 3은 0.0%이며 기능향상지수의 대안 1은 11.0%, 원안은 3.0%, 대안 2는 2.0% ,대안 3은 0.0%이다.

성능향상지수의 대안 1은 5.0%, 원안은 1.0%, 대안 2는 1.0%, 대안 3은 0.0%로 산정되어 상태와 기능 및 성능 면에서 비교분석 시 모두가 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

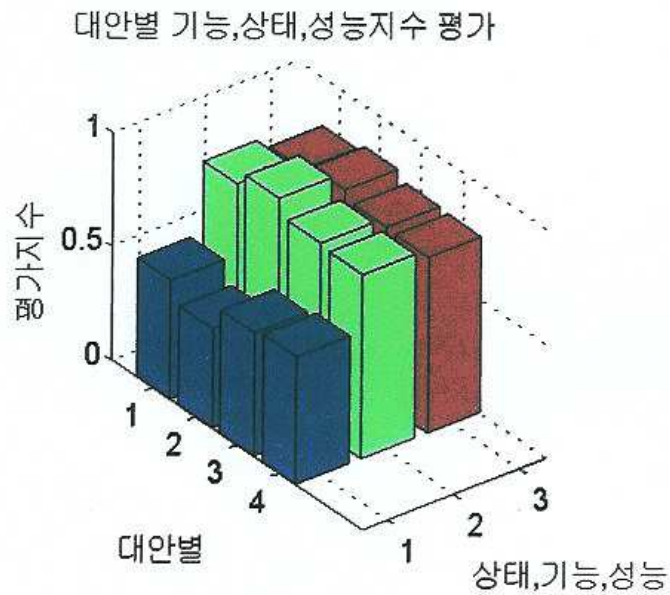


그림 5.18 방과제의 대안별 기능·상태·성능지수의 평가

그림 5.19와 같이 대안별 방과제의 성능지수는 대안 1, 원안, 대안 2, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 0.787, 0.757, 0.757, 0.746이며, LCC 지수는 대안 1, 대안 3, 원안, 대안 2의 순으로 그 값은 1.00, 1.09, 1.12, 1.14이며, 가치지수는 대안 1, 대안 3, 원안, 대안 2의 순으로 그 값은 1.061, 0.914, 0.904, 0.887로 산정되었다.

퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석을 위한 대안별 평가지표 산정결과에서 성능향상지수의 대안 1은 5.0%, 원안은 1.0%, 대안 2는 1.0%, 대안 3은 0.0%이며 비용절감지수의 대안 1은 12.0%, 대안 3은 4.0%, 원안은 2.0%, 대안 2는 0.0%이다.

가치향상지수의 대안1은 20.0%, 대안 3은 3.0%, 원안은 2.0%, 대안 2는 0.0%로 산정되어 성능과 비용 및 가치 면에서 비교분석 시 모두가 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

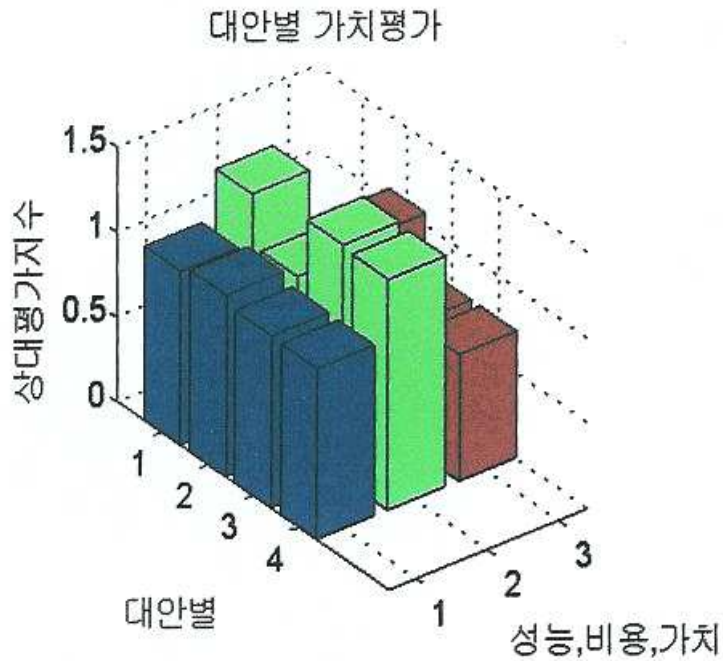


그림 5.19 방과제의 대안별 성능·비용·가치평가

그림 5.20과 같이 대안별 방과제의 기능점수는 대안 1, 원안, 대안 2, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 89.1, 83.2, 81.7, 80.4이며, 성능점수는 대안 1, 원안, 대안 2, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 78.9, 75.7, 75.1, 74.5이며, 가치점수 대안 1, 대안 3, 원안, 대안 2의 순으로 그 값은 106.1, 91.4, 90.4, 88.7로 산정되었다.

퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석을 위한 대안별 평가지표 산정결과에서 기능향상지수의 대안 1은 11.0%, 원안은 3.0%, 대안 2는 2.0%, 대안 3은 0.0%이며 성능향상지수의 대안 1은 5.0%, 원안은 1.0%, 대안 2는 1.0%, 대안 3은 0.0%이다.

가치향상지수의 대안1은 20.0%, 대안 3은 3.0%, 원안은 2.0%, 대안 2는 0.0%로 산정되어 기능과 성능 및 가치 면에서 비교분석 시 모두가 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.



그림 5.20 방과제의 대안별 기능·성능·가치평가

그림 5.21~5.22는 방과제의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 LCC 평가 와 투자비에 따른 총 LCC 평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

그림 5.21과 같이 1차 유지관리비에서는 1차, 2차, 3차, 4차의 유지관리비측면에서 모두가 대안 1이 가장 우수하게 분석되었다.

그림 5.22와 같이 초기·직접·간접 투자비에 따른 총 LCC는 대안 1이 모든 비용측면에서 가장 우수하게 평가 되어 경제적인 최적의 설계안으로 분석되었다.

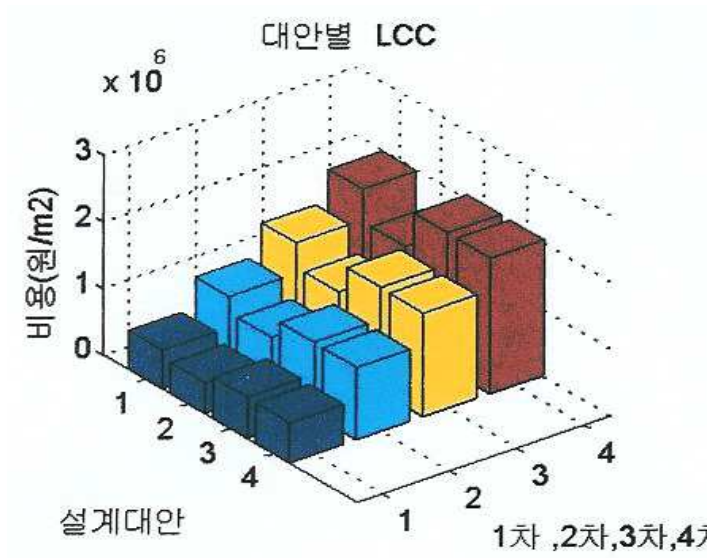


그림 5.21 방과제의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 LCC 평가

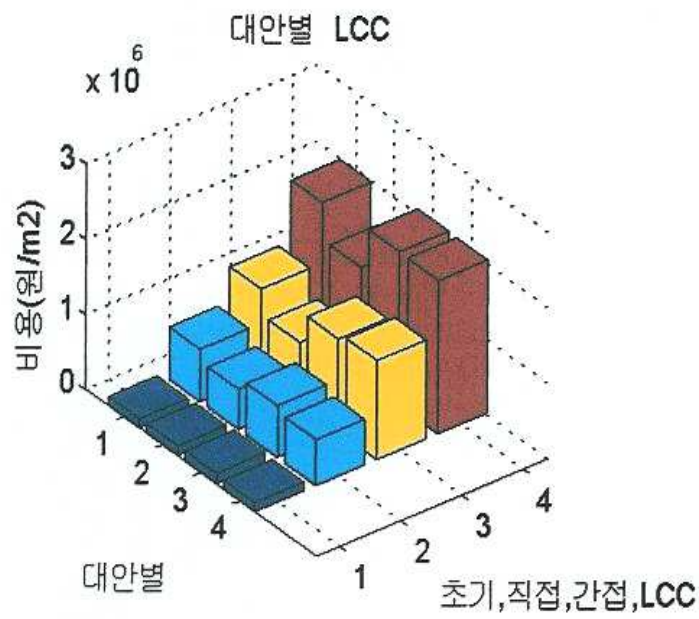


그림 5.22 방과제에 대한 대안별 총 LCC평가의 비교

5.3 안벽의 VE/LCC 분석

5.3.1 퍼지신뢰성 해석모델 분석

그림 5.23~26은 안벽에 대해 전문가 및 VE 분석자의 언어적 정보, 즉 보수적 정보 ($c=0.85$), 평균적 정보($c=1.3$), 낙관적 정보($c=2.5$) 및 수치적 정보($c=3.0$)로 산정되는 대안별 파괴가능성인 퍼지 파괴발생확률을 나타낸 것이다.

대안별 모두가 수치적 정보>낙관적 정보>평균적 정보>보수적 정보의 순으로 파괴 발생확률이 1에 가까워짐을 알 수 있으며, 본 연구에서는 전문가 및 VE 분석자의 평균적 정보를 통해서 안벽에 대한 대안별 각종 가치평가지표를 산정하였다. 위와 같이 본 연구의 모델은 전문가 및 VE 분석자가 주관적 신뢰성 해석에서 사용되는 퍼지 파괴가능성의 값을 정량적으로 객관화 시킬 수 있기 때문에 최적대안에 따른 각종 가치지표를 선정함에 있어 매우 유용하게 이용될 수 있다.

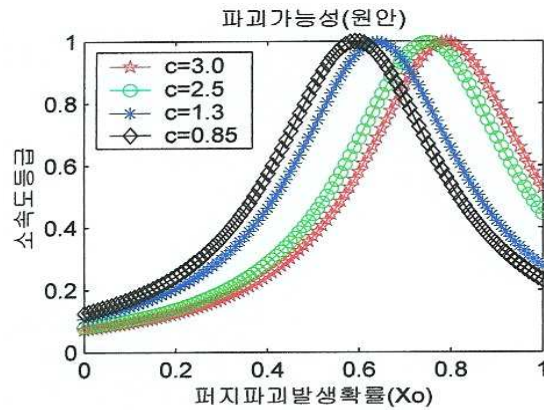


그림 5.23 언어적 정보에 따른 안벽의 원안 파괴가능성

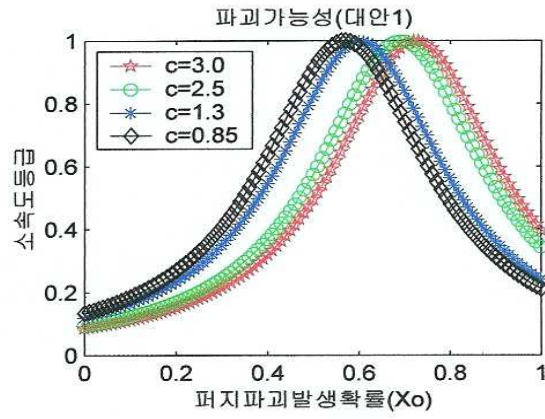


그림 5.24 언어적 정보에 따른 안벽의 대안 1 파괴가능성

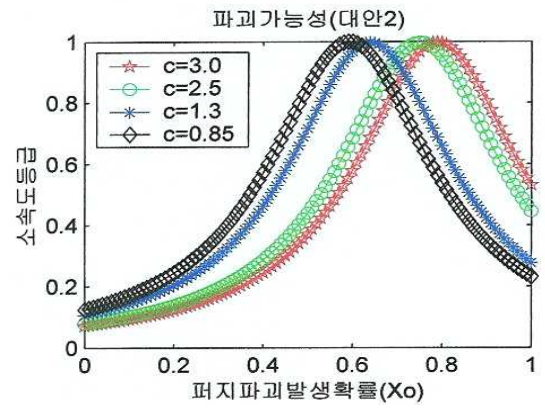


그림 5.25 언어적 정보에 따른 안벽의 대안 2 파괴가능성

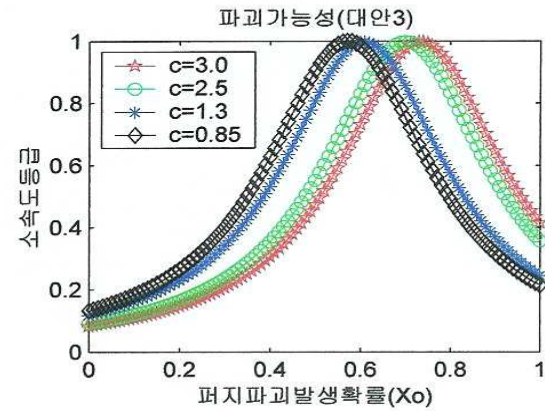


그림 5.26 언어적 정보에 따른 안벽의 대안 3 파괴가능성

5.3.2 사후 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석

그림 5.27과 같이 1회 유지관리인 보수조치를 취했을 때 안벽의 사후 유지관리 수준의 LCP를 보유성능함수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다. 보유성능함수는 안벽의 주요구조부재에 대한 휨강도로 산정하였고, 유지관리 조치 전후의 보유성능지수와 공용년수의 함수관계를 대안별로 분석함으로서 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

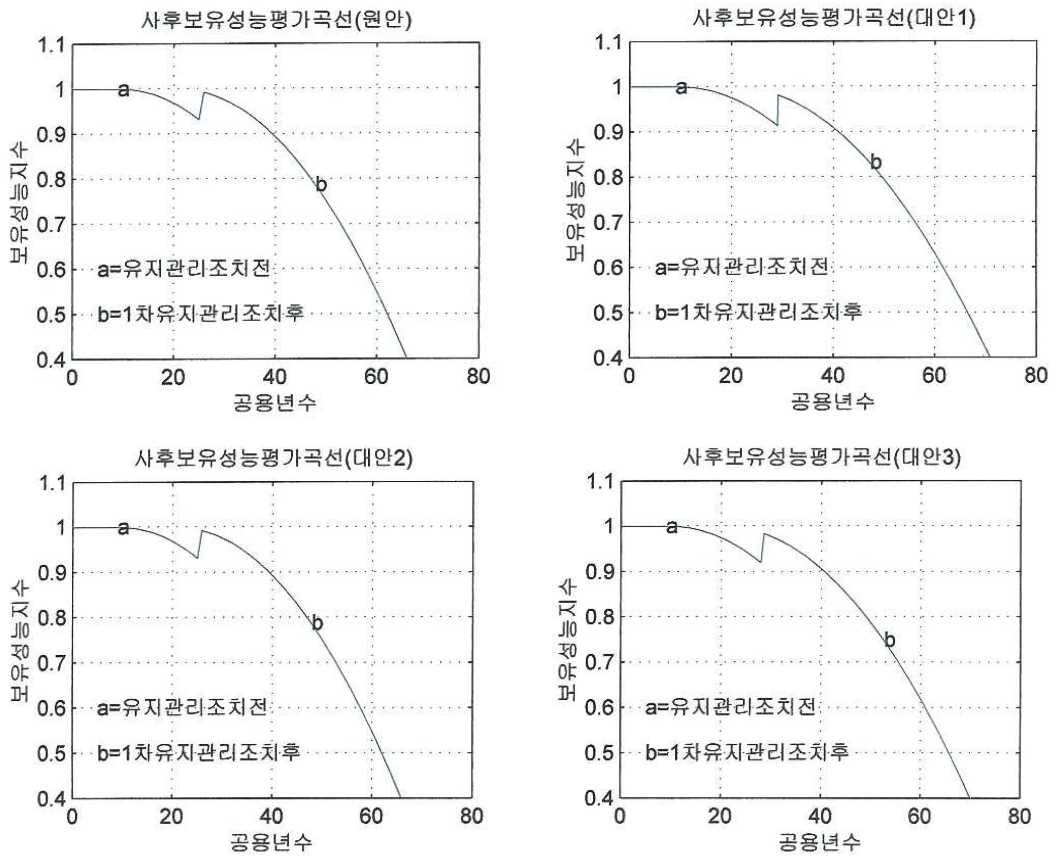


그림 5.27 안벽의 1회 사후 유지관리 대안별 LCP

그림 5.28과 같이 4회 유지관리인 보수조치를 취했을 때 안벽의 사후 유지관리수준의 LCP를 퍼지신뢰성 지수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다. 이 때 퍼지신뢰성 지수는 안벽의 주요구조부재에 대한 휨강도의 불확실량으로 산정하였고, 유지관리 조치 전과 1차, 2차 및 3차 유지관리 조치후의 신뢰성지수와 공용년수의 함수관계를 각 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 분석된다.

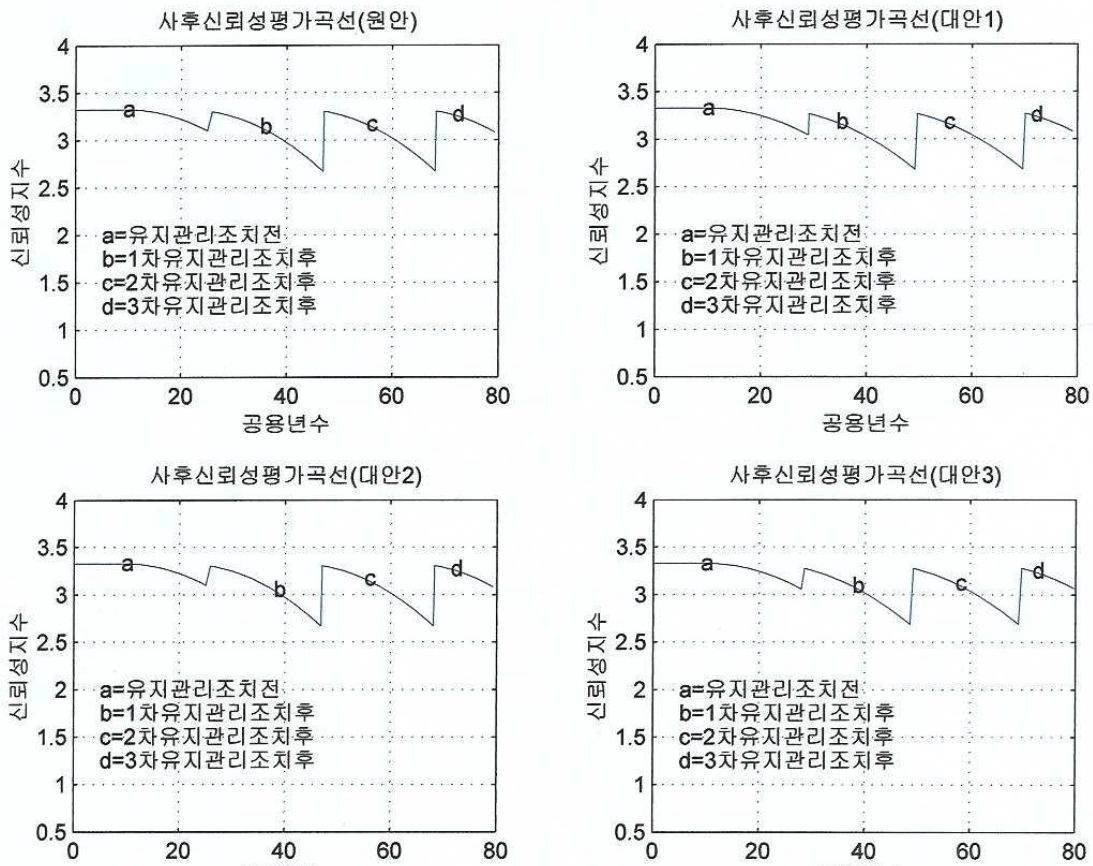


그림 5.28 안벽의 4회 사후 유지관리 대안별 LCP

5.3.3 예방 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석

그림 5.29와 같이 1회 유지관리조치를 취했을 때 안벽의 예방 유지관리 수준의 LCP를 보유성능함수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다.

이때 보유성능함수는 안벽의 주요 구조부재에 대한 휨강도로 산정하였고, 유지관리 조치 전후의 보유성능지수와 공용년수의 함수관계를 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 분석된다.

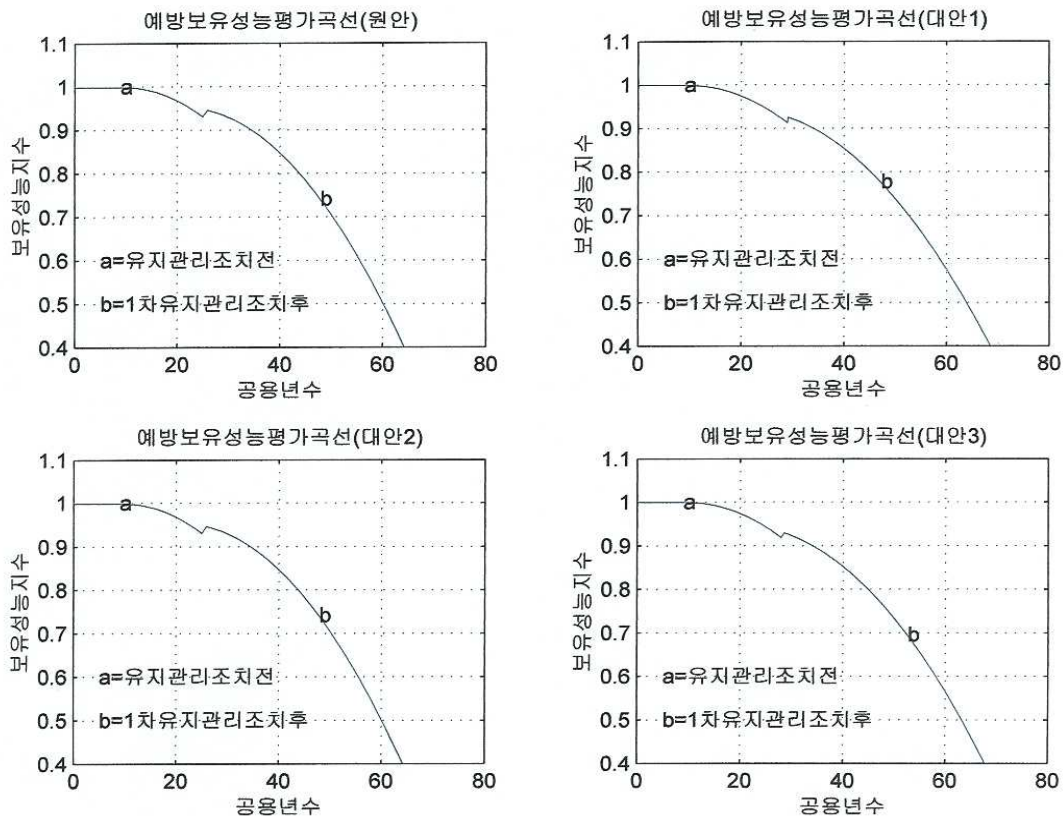


그림 5.29 안벽의 1회 예방 유지관리 대안별 LCP

그림 5.30과 같이 4회 유지관리조치를 취했을 때 안벽의 예방 유지관리수준의 LCP를 퍼지신뢰성 지수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다.

이때 퍼지신뢰성 지수는 안벽의 주요 구조부재에 대한 휨강도의 불확실량으로 산정하였고, 유지관리 조치 전과 1차, 2차 및 3차 유지관리 조치후의 신뢰성지수와 공용년수의 함수관계를 각 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 분석된다.

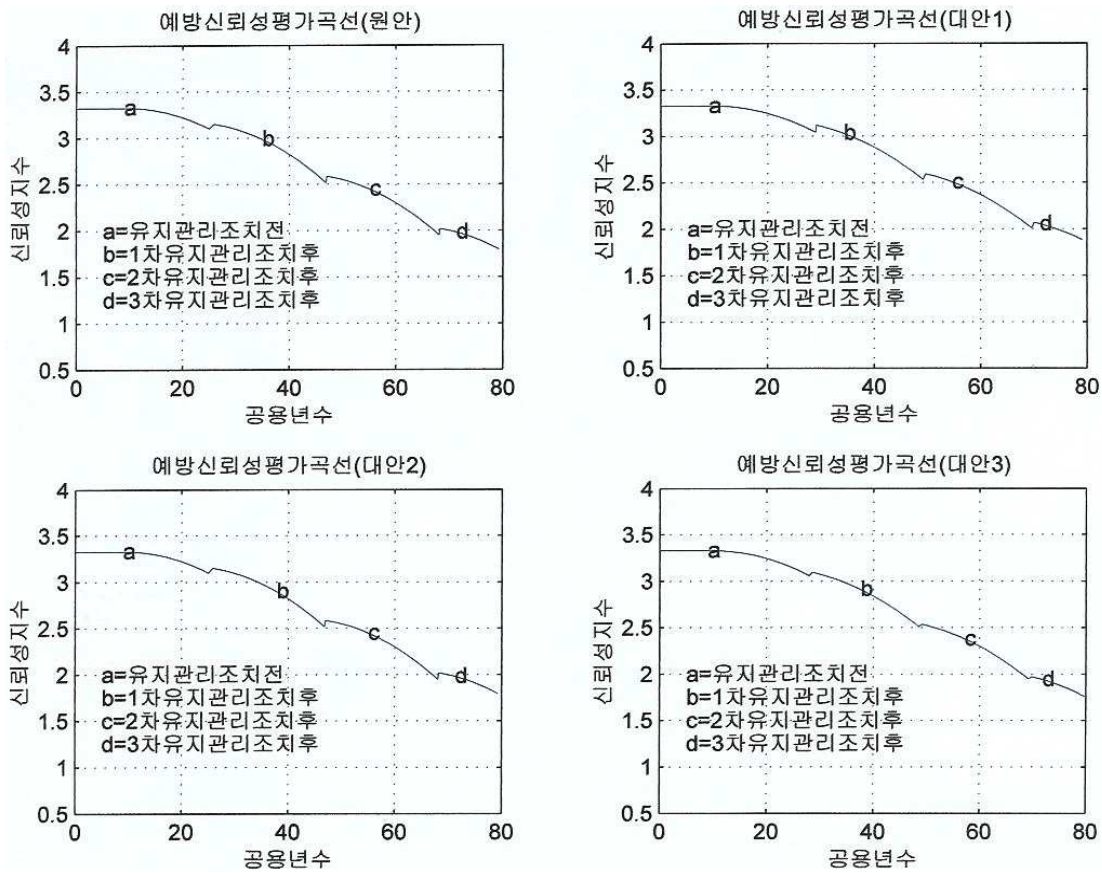


그림 5.30 안벽의 4회 예방 유지관리 대안별 LCP

5.3.4 사후 유지관리를 통한 자산가치 분석

그림 5.31과 같이 안벽의 열화성능평가와 유지관리수준별 설계 VE 시의 생애주기 동안의 시간의존적 자산가치를 사후 유지관리를 통한 대안별로 비교 평가하여 나타낸 것이다.

확정적 방법과 퍼지적 방법으로 산정한 생애주기 동안의 자산가치 지수는 거의 비슷하였고, 대안 1과 대안 2, 원안 및 대안 3의 순으로 대안 1이 안벽의 최적의 설계임을 나타내고 있다.

그림 5.32와 같이 시간의존적 예방LCC (초기투자비용+직접손실비용)는 대안 3과 원안, 대안 1 및 대안 2의 순으로 되었고, 시간의존적 예방LCC (초기투자비용+직접손실비용+간접손실비용)는 대안 3과 원안, 대안 2 및 대안 1의 순으로 4회 예방 유지관리조치를 취한 생애주기 프로파일의 유지관리조치시기에 비례하여 생애주기 동안 변화함을 알 수 있다.

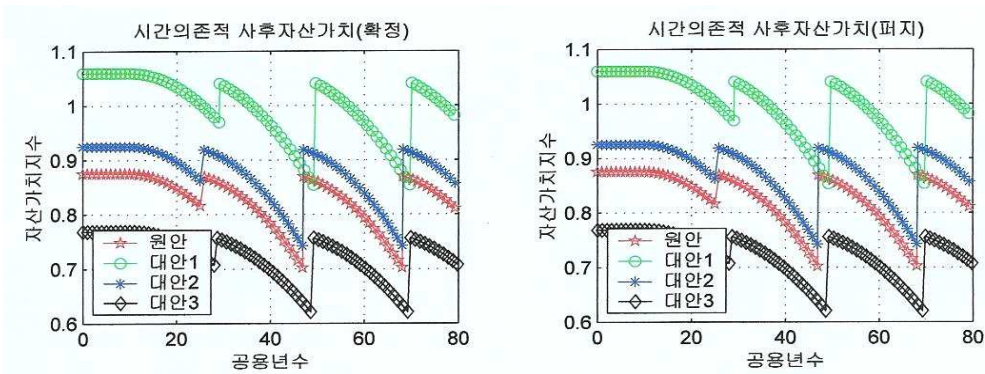


그림 5.31 안벽의 사후 유지관리 대안별 자산가치

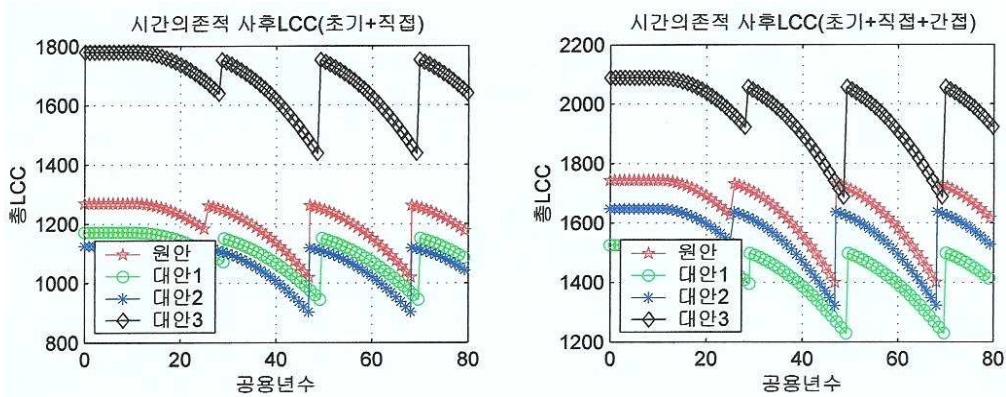


그림 5.32 안벽의 사후 유지관리 대안별 총LCC

5.3.5 예방 유지관리를 통한 자산가치 분석

그림 5.33과 같이 안벽의 열화성능평가와 유지관리수준별 설계 VE 시의 생애주기 동안의 시간의존적 자산가치를 예방 유지관리를 통한 대안별로 비교 평가하여 나타낸 것이다.

확정적 방법과 퍼지적 방법으로 산정한 생애주기 동안의 자산가치 지수는 거의 비슷하였고, 대안 1과 대안 2, 원안 및 대안 3의 순으로 대안 1이 안벽의 최적의 설계임을 나타내고 있다.

그림 5.34와 같이 시간의존적 예방LCC (초기투자비용+직접손실비용)는 대안 3과 원안, 대안 1 및 대안 2의 순으로 되었고, 시간의존적 예방LCC (초기투자비용+직접손실비용+간접손실비용)는 대안 3과 원안, 대안 2 및 대안 1의 순으로 4회 예방 유지관리조치를 취한 생애주기 프로파일의 유지관리조치 시기에 비례하여 생애주기 동안 변화함을 알 수 있다.

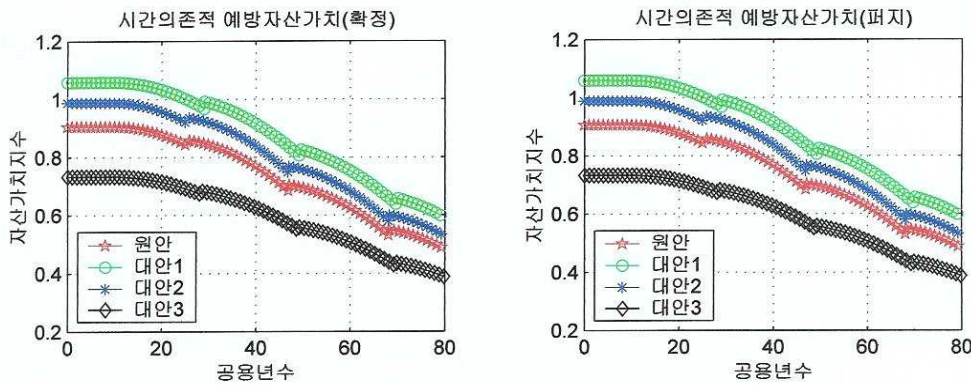


그림 5.33 안벽의 예방 유지관리 대안별 자산가치

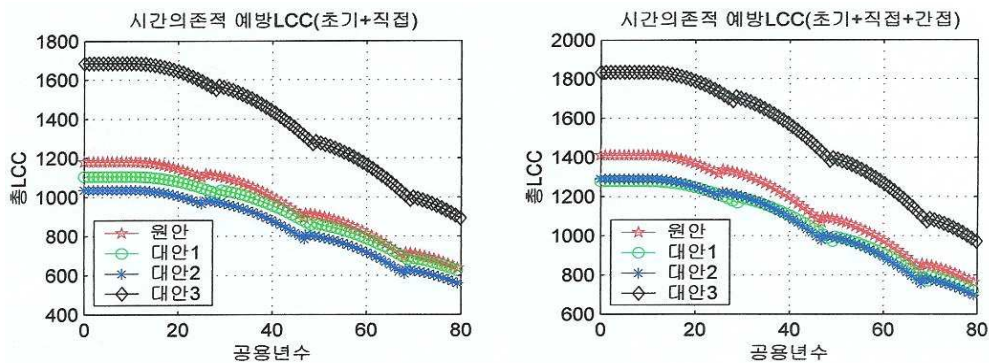


그림 5.34 안벽의 예방 유지관리 대안별 총LCC

5.3.6 퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석

그림 5.35~5.37은 안벽의 대안별로 성능평가 기준항목에 따라 퍼지로직의 절차에 의해 기능평가와 성능평가 및 가치평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

그림 5.35와 같이 안벽의 대안별 평가항목에 따른 기능평가 결과는 대안 1이 83.7, 대안 3은 82.2, 원안은 74.8, 대안 2는 74.8의 순으로 산정되었으며, 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

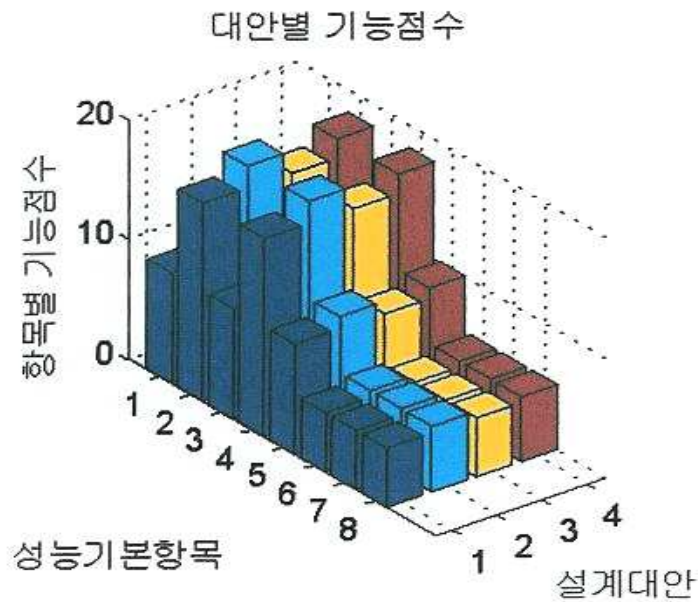


그림 5.35 안벽의 대안별 기능점수의 평가

대안 1의 성능평가 기준항목별 기능점수는 내구성 10.2, 안정성 18.3, 이용성 10.2, 연계성 18.3, 유지관리성이 10.2, 환경성이 5.5, 시공성 5.5, 경제성이 5.5로 평가되었다.

그림 5.36과 같이 성능평가 기준항목에 따라 퍼지로그의 절차에 준하여 안벽의 대안별 성능평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

안벽의 대안별 성능점수를 퍼지로그에 따라 평가한 결과는 대안 1은 82.9 대안 3은 82.2, 원안이 78.0, 대안 2가 78.0의 순으로 산정되었으며, 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.



그림 5.36 안벽의 대안별 성능점수의 평가

대안 1의 성능평가 기준항목별 성능점수는 내구성 10.1, 안정성 18.2, 이용성 10.1, 연계성 18.2, 유지관리성이 10.1, 환경성이 5.4, 시공성 5.4, 경제성이 5.4로 우수하게 평가되었다.

그림 5.37과 같이 성능평가 기준항목에 따라 퍼지로직의 절차에 준하여 안벽의 대안별 가치평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

안벽의 대안별 성능점수를 퍼지로직에 따라 평가한 결과는 대안 1이 106.0, 대안 2가 92.6, 원안이 87.6, 대안 3이 76.9의 순으로 산정되었으며, 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.



그림 5.37 안벽의 대안별 가치점수의 평가

대안 1의 성능평가 기준항목별 가치점수는 내구성이 12.9, 안정성이 23.2, 이용성이 12.9, 연계성 23.2, 유지관리성이 12.9, 환경성이 6.9, 시공성이 6.9, 경제성이 6.9으로 평가되었다.

그림 5.38~5.40은 안벽의 대안별 보수·보강 전후 잔여수명의 평가, 유지관리조치시기와 신뢰성지수의 평가 및 유지관리조치시기와 공용년수의 평가를 비교하여 나타낸 것이다.

그림 5.38과 같이 퍼지신뢰성 지수의 값으로 잔여수명을 추정한 결과는 보수·보강 전의 잔여수명은 대안 1이 6.7년, 대안 3은 6.0년 원안은 2.6년, 대안 2는 2.6년의 순이고, 보수·보강 후의 잔여수명은 대안 1이 26.9년, 대안 3은 26.4년, 원안은 23.7년, 대안 2는 23.6년의 순으로 분석되었다.

따라서 잔여수명의 증가분은 원안은 21.1년, 대안 1이 20.2년, 대안 2는 21.0년, 대안 3은 20.4년으로 결과가 분석이 되어 대안 1이 잔여수명측면에서 보다 유리함을 알 수 있다.

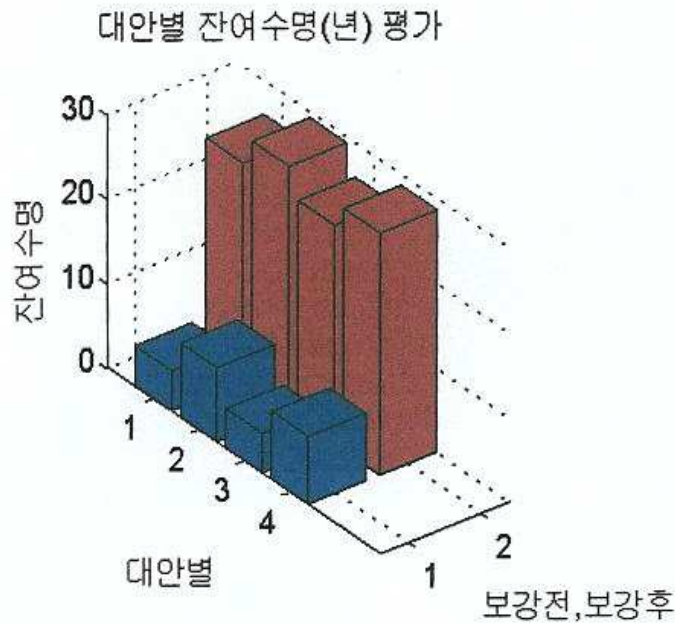


그림 5.38 안벽의 대안별 보수·보강 전후 잔여수명의 평가

그림 5.39와 같이 대안별 유지관리 조치시기에 있어 1차 유지관리 조치는 대안 1이 34.7년, 대안 3은 33.0년, 원안은 30.8년, 대안 2는 30.7년의 순으로 분석되었다.

2차 유지관리 조치는 대안 1이 55.2년, 대안 3은 54.6년, 원안은 52.0년, 대안 2는 52.0년의 순이며, 3차 유지관리 조치는 대안 1이 75.7년, 대안 3은 75.2년, 원안은 73.2년, 대안 2는 73.2년의 순으로 추정되었으며, 유지관리조치 1, 2, 3차에서 모두 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었다.

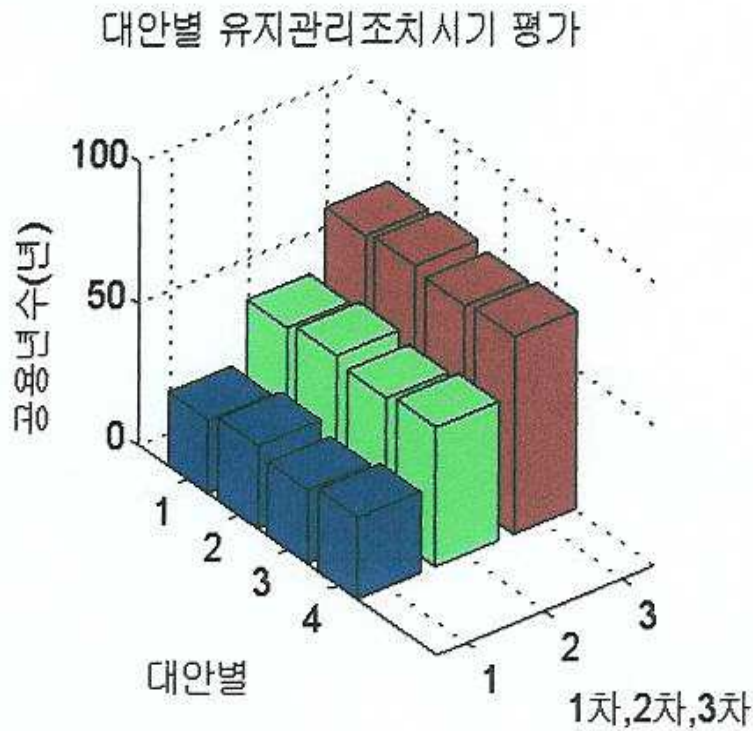


그림 5.39 안벽의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 공용년수의 평가

그림 5.40과 같이 대안별 성능지수를 통해 신뢰성 해석을 수행한 결과, Kanda의 해석방법에 의해 산정된 신뢰성지수는 대안 1, 대안 3, 원안, 대안 2의 순으로 그 값은 각각 2.68, 2.65, 2.47, 2.47이고, 본 연구의 방법에 의한 퍼지신뢰성 지수는 대안 1, 원안, 대안 2, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 2.64, 2.60, 2.42, 2.42로 산정되었으며, 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

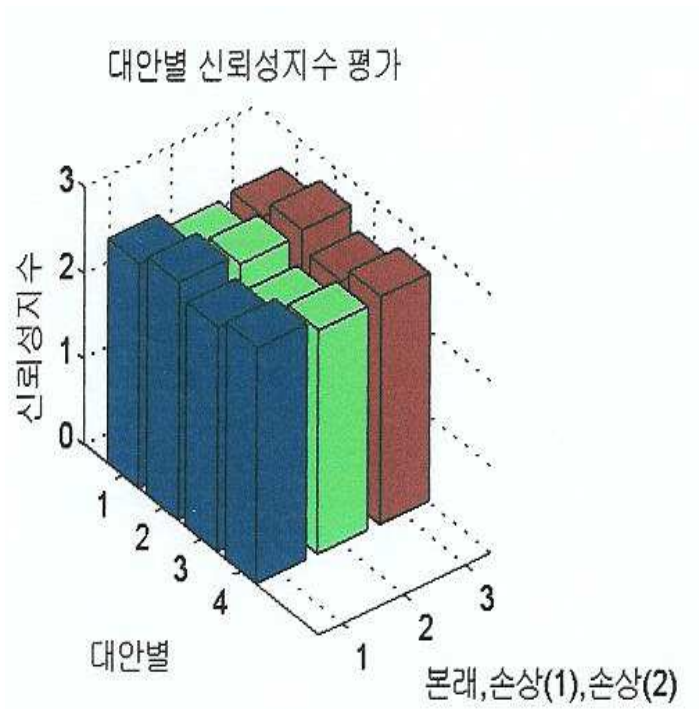


그림 5.40 안벽의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 신뢰성 지수의 평가

그림 5.41과 같이 대안별 경제성 분석결과는 대안 1이 26.9%, 대안 2가 21.0%, 원안은 16.5%, 대안 2는 0.0%의 순으로 대안 1이 가장 경제적인 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

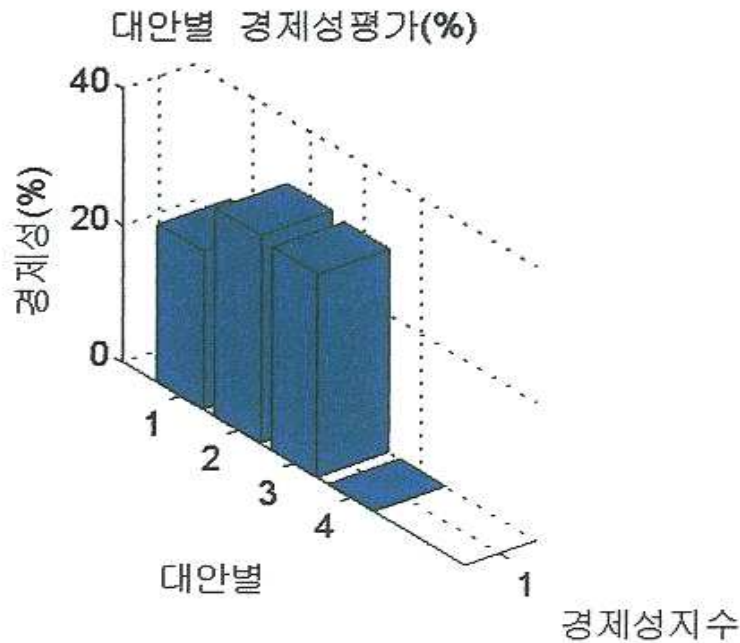


그림 5.41 안벽의 대안별 경제성 평가

그림 5.42와 같이 대안별 안벽의 상태지수는 대안 1, 대안 3, 원안, 대안 2의 순으로 그 값은 각각 0.396, 0.415, 0.519, 0.521이며, 기능지수는 대안 1, 대안 3, 원안, 대안 2의 순으로 그 값은 각각 0.837, 0.822, 0.748, 0.748이고, 성능지수는 대안 1, 대안 3, 원안, 대안 2의 순으로 그 값은 각각 0.829, 0.822, 0.780, 0.780으로 산정되었다.

퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석을 위한 대안별 평가지표 산정결과에서 상태향상지수의 대안 1은 24.00%, 대안 3은 20.0%, 원안은 1.0%, 대안 2는 0.0%이며 기능향상지수의 대안 1은 12.0%, 대안 3은 10.0%, 원안은 0.0%, 대안 2는 0.0%로 분석되었다.

또한 성능향상지수의 대안 1은 6.0%, 대안 3은 5.0%, 원안은 0.0%, 대안 2는 0.0%로 산정되어 상태와 기능 및 성능 면에서 비교분석 시 모두가 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

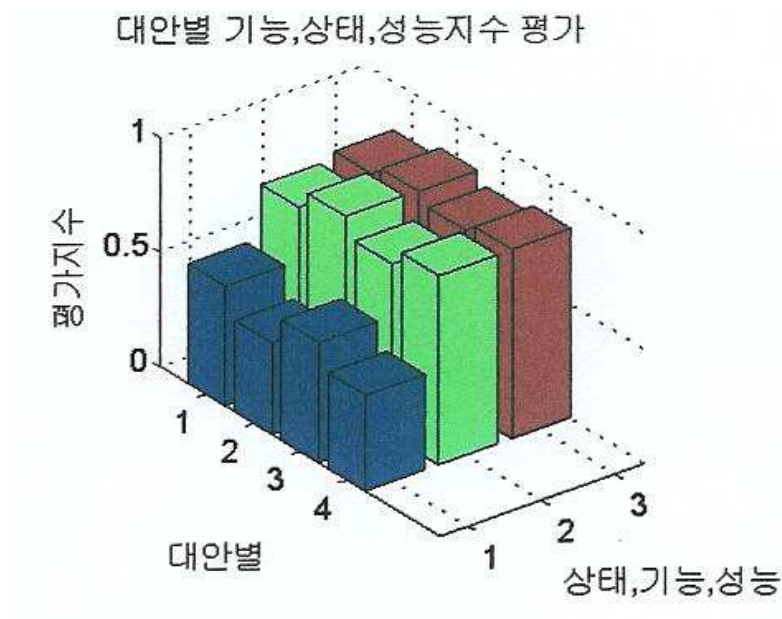


그림 5.42 안벽의 대안별 기능·상태·성능지수의 평가

그림 5.43과 같이 대안별 안벽의 성능지수는 대안 1, 대안 3, 원안, 대안 2의 순으로 그 값은 각각 0.829, 0.822, 0.780, 0.780이며, LCC 지수는 대안 1, 대안 2, 원안, 대안 3의 순으로 그 값은 1.526, 1.648, 1.743, 2.087이며, 가치지수는 대안 1, 대안 2, 원안, 대안 3의 순으로 그 값은 1.060, 0.926, 0.876, 0.769로 산정되었다.

폐지신뢰성에 의한 통합 가치분석을 위한 대안별 평가지표 산정결과에서 성능향상지수의 대안 1은 6.0%, 대안 3은 5.0%, 원안은 0.0%, 대안 2는 0.0%이며 비용절감지수의 대안 1은 27.0%, 대안 2는 21.0%, 원안은 16.0%, 대안 3은 0.0%로 분석되었다.

또한 가치향상지수의 대안 1은 38.0%, 대안 2는 20.0%, 원안은 14.0%, 대안 3은 0.0%로 산정되어 성능과 비용 및 가치 면에서 비교분석 시 모두가 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

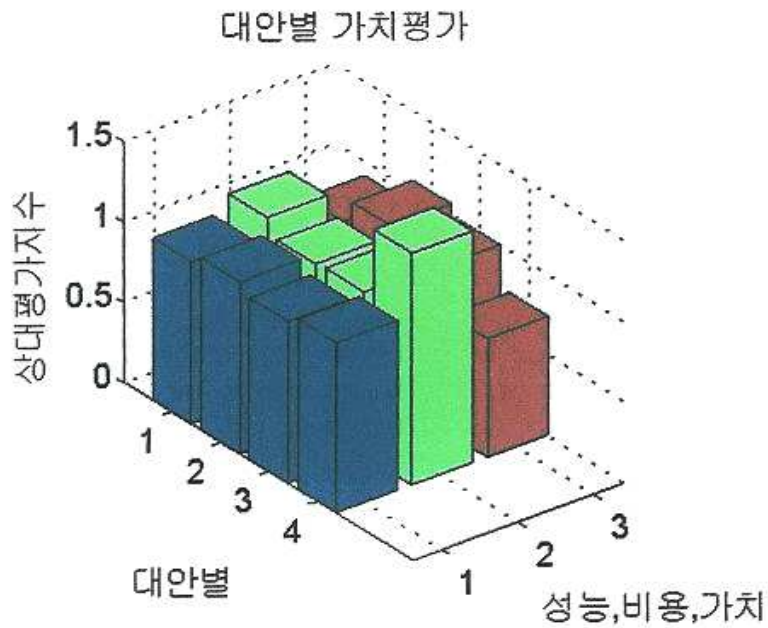


그림 5.43 안벽의 대안별 성능·비용·가치평가

그림 5.44와 같이 대안별 안벽의 기능점수는 대안 1, 대안 3, 원안, 대안 2의 순으로 그 값은 각각 83.7, 82.2, 74.8, 74.8이고, 성능점수는 대안 1, 대안 3, 원안, 대안 2의 순으로 그 값은 각각 82.9, 82.2, 78.0, 78.0이며, 가치점수 대안 1, 대안 2, 원안, 대안 3의 순으로 그 값은 106.0, 92.6, 87.6, 76.9로 산정되었다.

퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석을 위한 대안별 평가지표 산정결과에서 기능향상 지수의 대안 1은 12.0%, 대안 3은 10.0%, 원안은 0.0%, 대안 2는 0.0%이며 성능향상 지수의 대안 1은 6.0%, 대안 3은 5.0%, 원안은 0.0%, 대안 2는 0.0%이다.

가치향상지수의 대안 1은 38.0%, 대안 2는 20.0%, 원안은 14.0%, 대안 3은 0.0%로 산정되어 기능과 성능 및 가치 면에서 비교분석 시 모두가 대안 1이 최적의 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

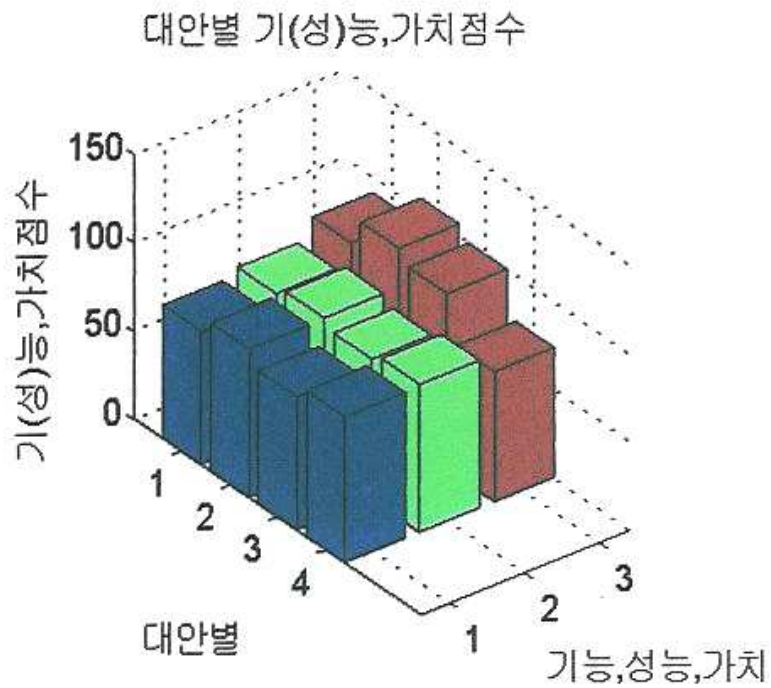


그림 5.44 안벽의 대안별 기능·성능·가치 평가의 비교

그림 5.45~5.46은 안벽의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 LCC 평가 및 투자비에 따른 총 LCC 평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

그림 5.45와 같이 1차 유지관리비에서는 1차, 2차, 3차, 4차의 유지관리비측면에서 모두가 대안 1이 가장 우수하게 분석되었다.

그림 5.46과 같이 초기·직접·간접투자비에 따른 총 LCC는 대안 1이 모두 비용측면에서 가장 우수하게 평가되어 경제적인 최적의 설계안으로 분석되었다.

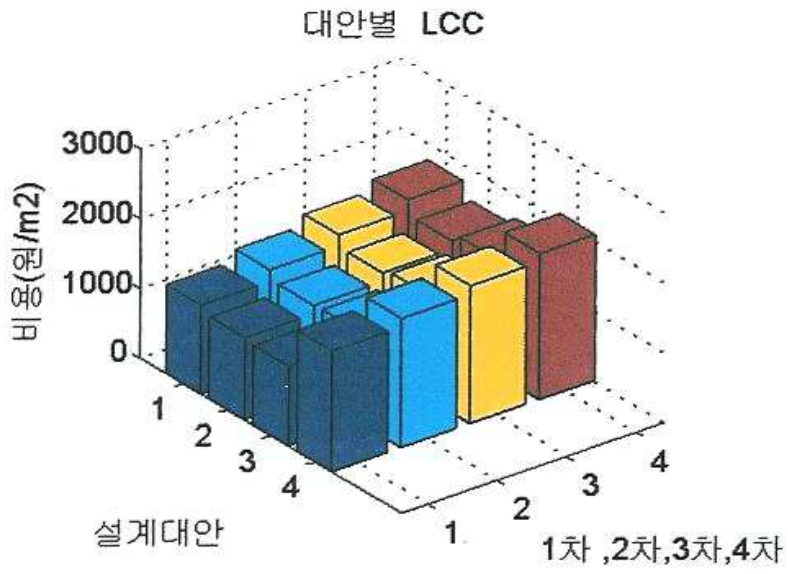


그림 5.45 안벽의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 LCC 평가

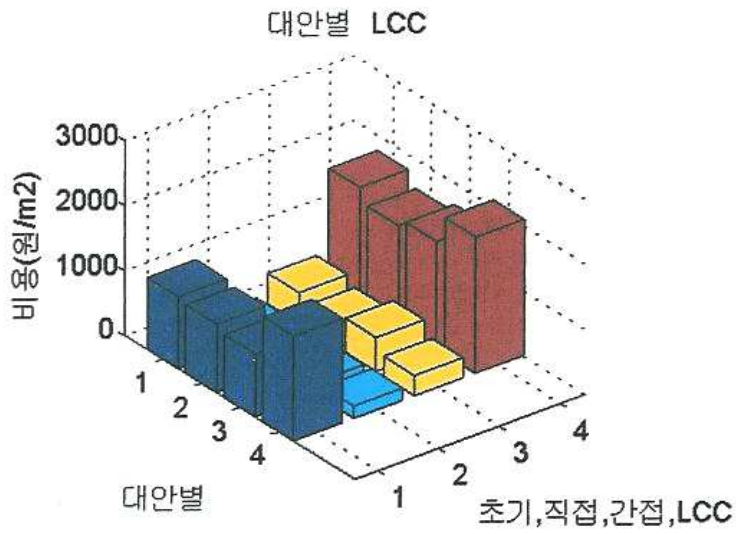


그림 5.46 안벽의 대안별 투자비에 따른 총 LCC 평가

5.4 호안의 VE/LCC 분석

5.4.1 퍼지신뢰성 해석모델 분석

그림 5.47~5.50는 호안에 대해 전문가 및 VE분석자의 언어적 정보, 즉 보수적 정보, 평균적 정보 및 낙관적 정보와 수치적 정보로 산정되는 대안별 파괴가능성(퍼지 파괴 발생확률)을 나타낸 것이다.

그림 5.27과 같이 대안별 모두가 수치적 정보($c=3.0$), 낙관적 정보($c=2.5$), 평균적 정보($c=1.3$), 보수적 정보($c=0.85$)의 순으로 파괴발생확률이 1에 가까워짐을 알 수 있으며, 본 연구에서는 전문가 및 VE 분석자의 평균적 정보를 통해서 호안에 대한 대안별 각종 가치평가지표를 산정하였다. 위와 같이 본 연구의 모델은 호안의 VE/LCC 분석에 있어 전문가 및 VE 분석자가 주관적 신뢰성 해석에서 사용되는 퍼지 파괴가능성의 값을 정량적으로 객관화 시킬 수 있기 때문에 최적대안에 따른 각종 가치지표를 선정하는데 매우 유용하게 이용될 수 있을 것으로 분석된다.

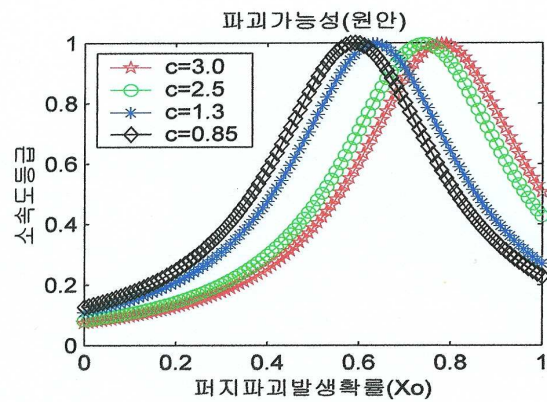


그림 5.47 언어적 정보에 따른 호안의 원안 파괴가능성

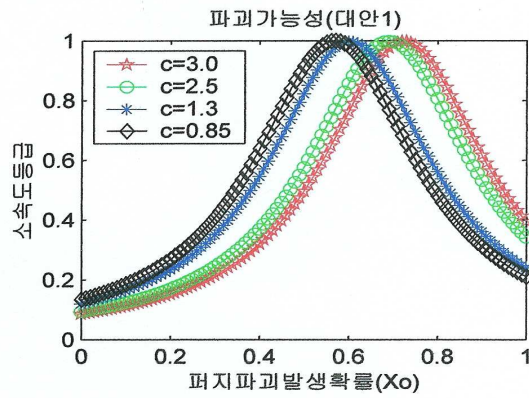


그림 5.48 언어적 정보에 따른 호안의 대안 1 파괴가능성

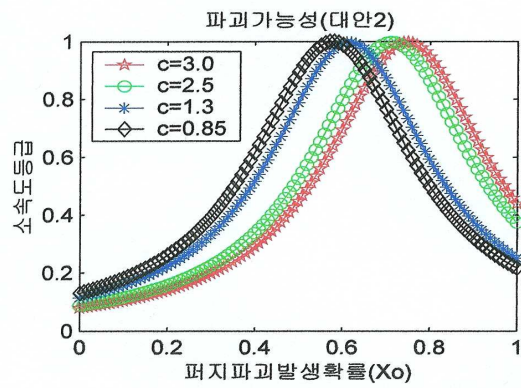


그림 5.49 언어적 정보에 따른 호안의 대안 2 파괴가능성

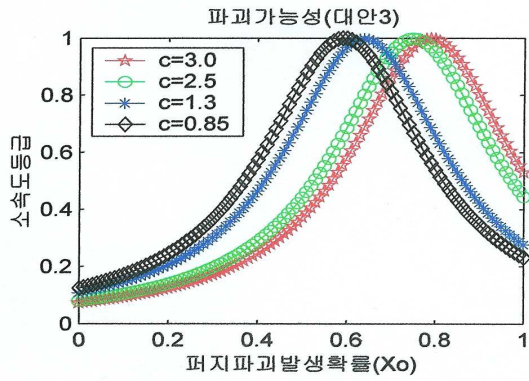


그림 5.50 언어적 정보에 따른 호안의 대안 3 파괴가능성

5.4.2 사후 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석

그림 5.51과 같이 1회 유지관리인 보수조치를 취했을 때 호안의 사후 유지관리 수준의 LCP를 보유성능함수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다.

보유성능함수는 호안의 주요 구조부재에 대한 휨강도로 산정하였고, 유지관리 조치 전후의 보유성능지수와 공용년수의 함수관계를 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 분석된다.

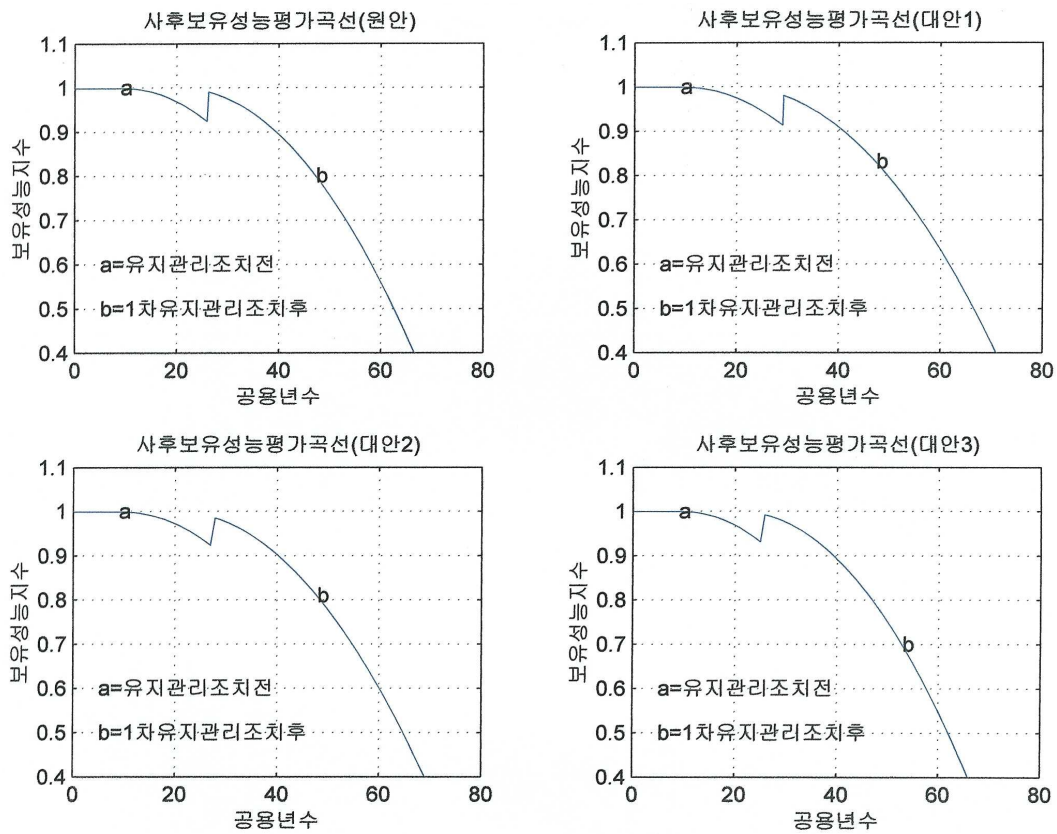


그림 5.51 호안의 1회 사후 유지관리 대안별 LCP

그림 5.52와 같이 4회 유지관리인 보수조치를 취했을 때 호안의 사후 유지관리수준의 LCP를 퍼지신뢰성 지수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다. 이 때 퍼지신뢰성 지수는 호안의 주요구조부재에 대한 휨강도의 불확실량으로 산정하였고, 유지관리 조치 전과 1차, 2차 및 3차 유지관리 조치후의 신뢰성지수와 공용년수의 함수관계를 각 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

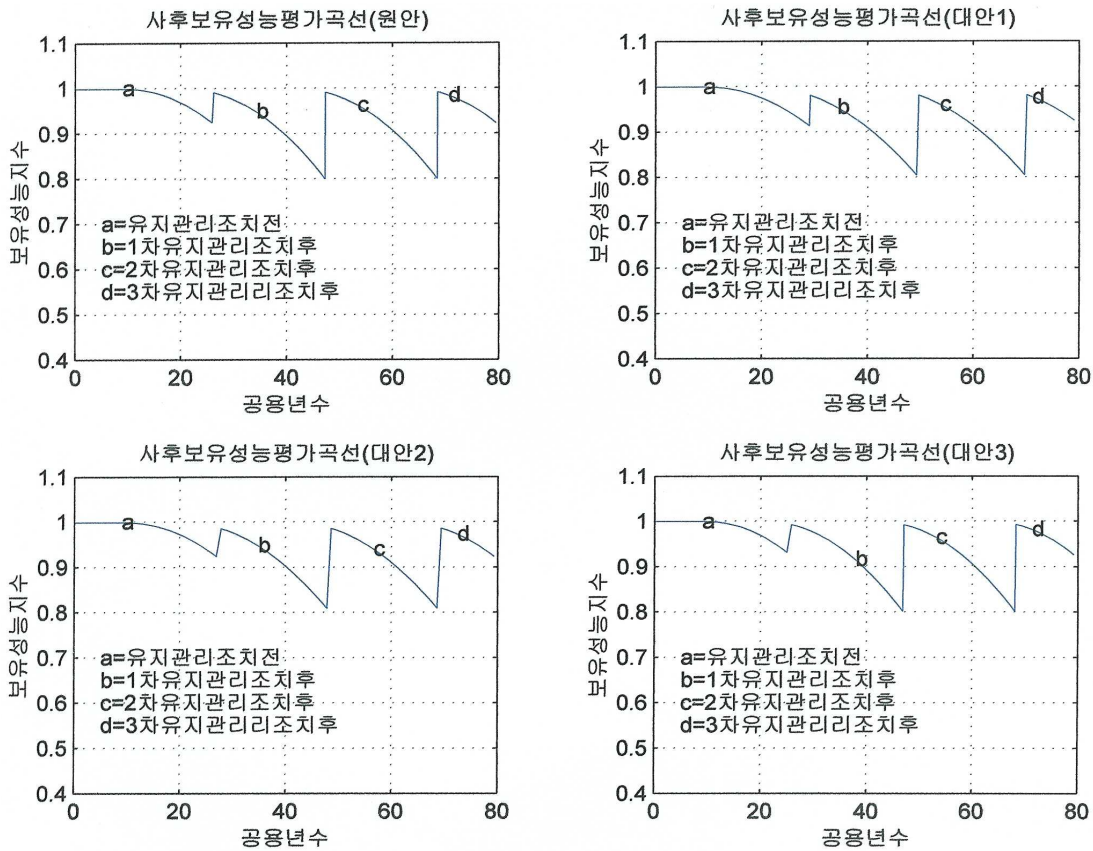


그림 5.52 호안의 4회 사후 유지관리 대안별 LCP

5.4.3 예방 유지관리를 통한 생애주기 프로파일 분석

그림 5.53과 같이 1회 유지관리조치를 취했을 때 호안의 예방 유지관리 수준의 LCP를 보유성능함수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다.

이때 보유성능함수는 호안의 주요구조부재에 대한 힘강도로 산정하였고, 유지관리 조치 전후의 보유성능지수와 공용년수의 함수관계를 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 분석된다.

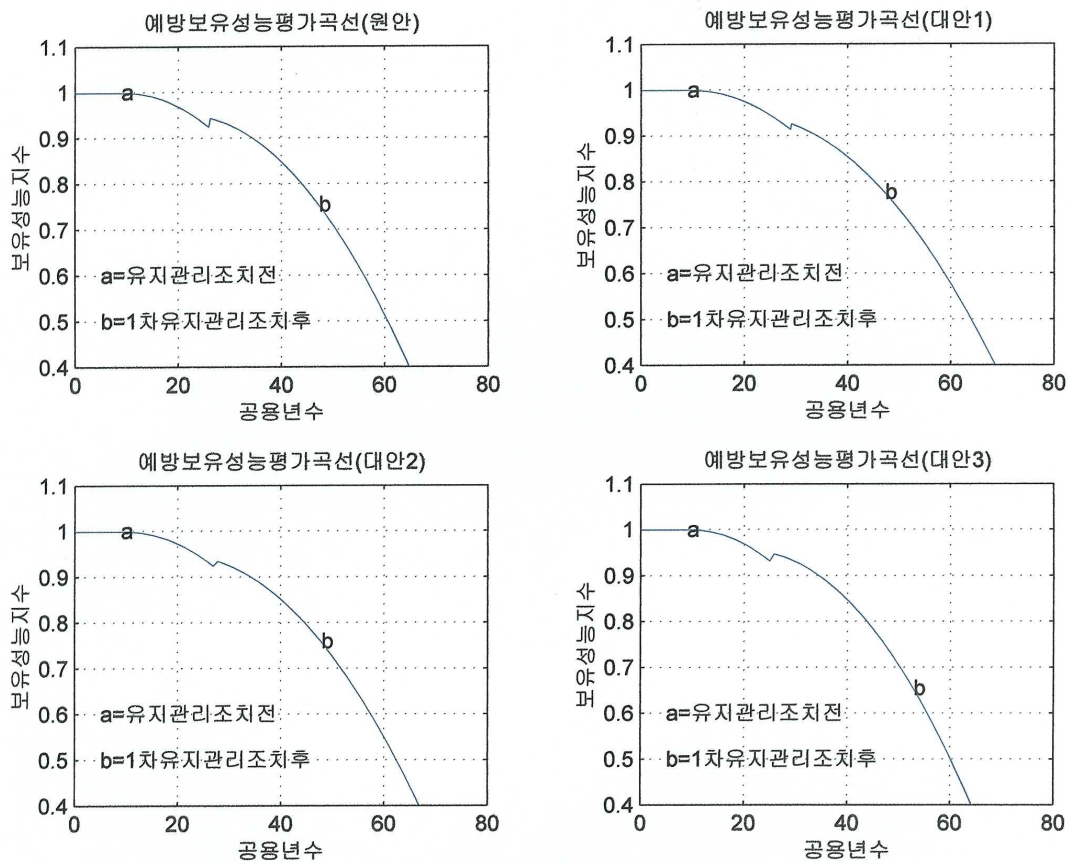


그림 5.53 호안의 1회 예방 유지관리 대안별 LCP

그림 5.54와 같이 4회 유지관리조치를 취했을 때 호안의 예방 유지관리수준의 LCP를 퍼지신뢰성 지수를 사용하여 대안별로 나타낸 것이다. 이때 퍼지신뢰성 지수는 호안의 주요 구조부재에 대한 휨강도의 불확실량으로 산정하였고, 유지관리 조치 전과 1차, 2차 및 3차 유지관리 조치후의 신뢰성지수와 공용년수의 함수관계를 각 대안별로 분석함으로써 생애주기 동안에 발생하는 미래의 유지관리전략 수립을 보다 합리적으로 수행할 수 있을 것으로 분석된다.

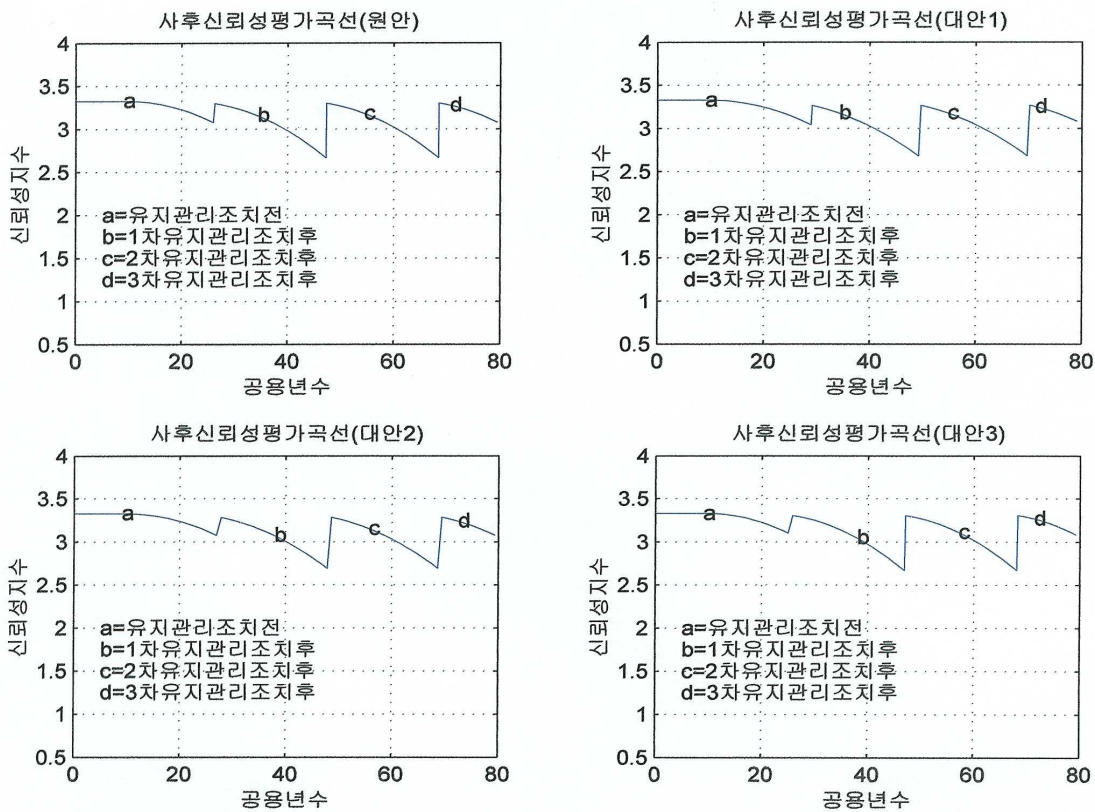


그림 5.54 호안의 4회 예방 유지관리 대안별 LCP

5.4.4 사후 유지관리를 통한 자산가치 분석

그림 5.55와 같이 호안의 열화성능평가와 유지관리수준별 설계 VE 시의 생애주기 동안의 시간의존적 자산가치를 사후 유지관리를 통한 대안별로 비교 평가하여 나타낸 것이다.

확정적 방법과 퍼지적 방법으로 산정한 생애주기 동안의 자산가치 지수는 거의 비슷하였고, 원안과 대안 1, 대안 3 및 대안 2의 순으로 원안이 최적의 설계임을 나타내고 있다.

그림 5.56과 같이 시간의존적 사후LCC (초기투자비용+직접손실비용)는 원안과 대안 1, 대안 3 및 대안 2의 순으로 되었으며, 시간의존적 사후LCC (초기투자비용+직접손실비용+간접손실비용)는 원안과 대안 1, 대안 3 및 대안 2의 순으로 4회 사후 유지관리 조치를 취한 생애주기 프로파일의 유지관리 조치시기에 비례하여 생애주기 동안 변화함을 알 수 있다.

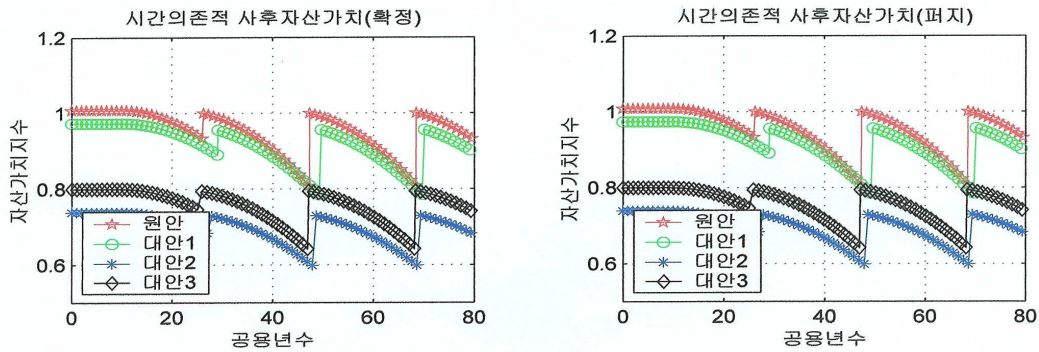


그림 5.55 호안의 사후 유지관리 대안별 자산가치

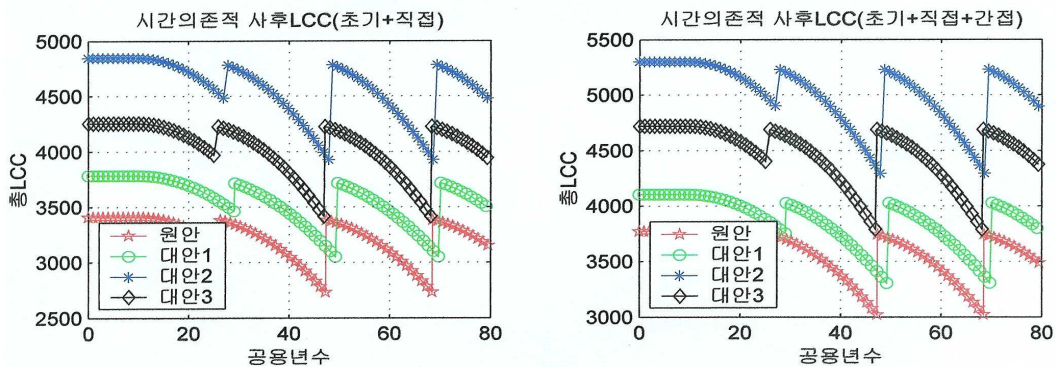


그림 5.56 호안의 사후 유지관리 대안별 총LCC

5.4.5 예방 유지관리를 통한 자산가치 분석

그림 5.57과 같이 호안의 열화성능평가와 유지관리수준별 설계 VE 시의 생애주기 동안의 시간의존적 자산가치를 예방 유지관리를 통한 대안별로 비교 평가하여 나타낸 것이다.

확정적 방법과 퍼지적 방법으로 산정한 생애주기 동안의 자산가치 지수는 거의 비슷하였고, 원안과 대안 1, 대안 3 및 대안 2의 순으로 원안이 최적의 설계임을 나타내고 있다.

그림 5.58과 같이 시간의존적 예방LCC(초기투자비용+직접손실비용)는 원안과 대안 1, 대안 3 및 대안 2의 순으로 되었으며, 시간의존적 예방LCC(초기투자비용+직접손실비용+간접손실비용)는 원안과 대안 1, 대안 3 및 대안 2의 순으로 4회 예방 유지관리조치를 취한 생애주기 프로파일의 유지관리 조치시기에 비례하여 생애주기 동안 변화함을 알 수 있다.

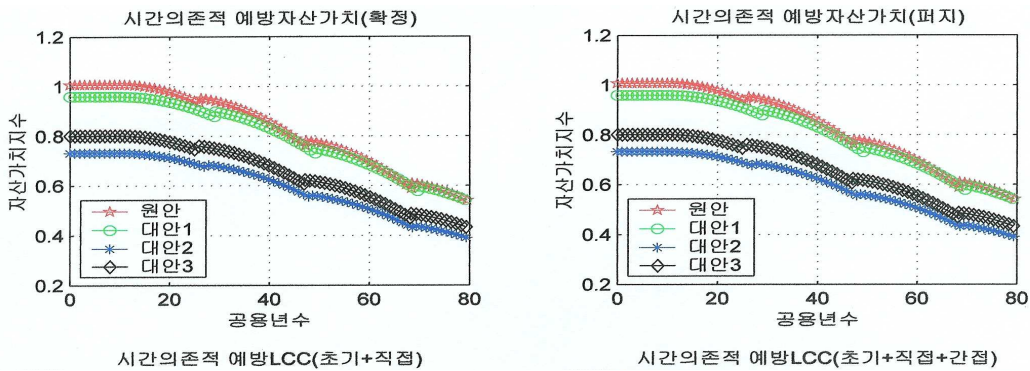


그림 5.57 호안의 예방 유지관리 대안별 자산가치

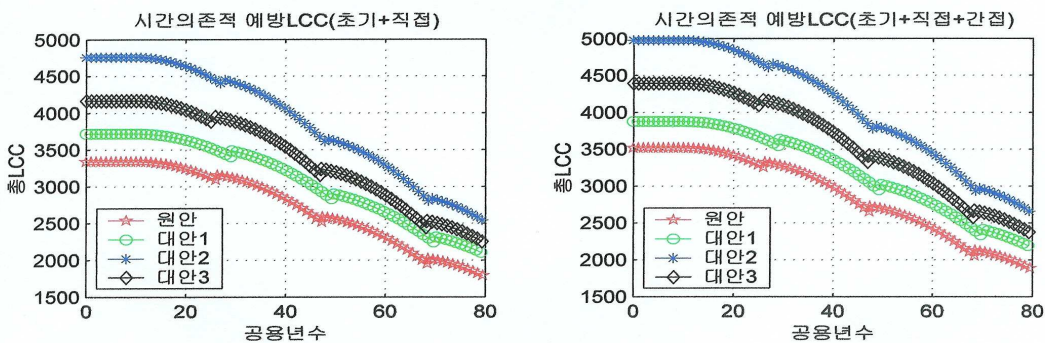


그림 5.58 호안의 예방 유지관리 대안별 총LCC

5.4.6 퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석

그림 5.59~5.61은 호안의 대안별로 성능평가 기준항목에 따라 퍼지로직의 절차에 의해 기능평가와 성능평가 및 가치평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

그림 5.59와 같이 호안의 대안별 평가항목에 따른 기능평가 결과는 대안 1이 83.3, 대안 2는 80.9, 원안은 77.3, 대안 3은 76.3의 순으로 산정되었으며, 대안 1이 유리한 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

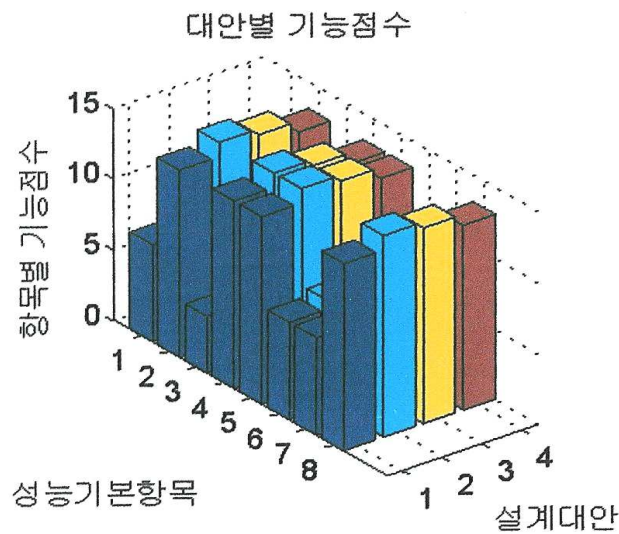


그림 5.59 호안의 대안별 기능점수의 평가

대안 1의 성능평가 기준항목별 기능점수는 시공 관리성이 7.4, 장래시설 연계성이 14.2, 구조적 안정성이 4.3, 상부 이용성이 14.3, 항로 간섭성이 14.2, 주변시설 영향성이 7.4, 원유 BUOY 영향성이 7.4, 항내 정온성이 14.2로 우수하게 평가되었다.

그림 5.60과 같이 성능평가 기준항목에 따라 퍼지로그의 절차에 준하여 호안의 대안별 성능평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

호안의 대안별 열화성능점수를 평가한 결과는 대안 1이 82.9, 대안 2가 81.0, 원안이 78.7, 대안 3이 78.2의 순으로 산정되었으며, 대안 1이 유리한 설계안으로 분석되었음을 알 수 있다.

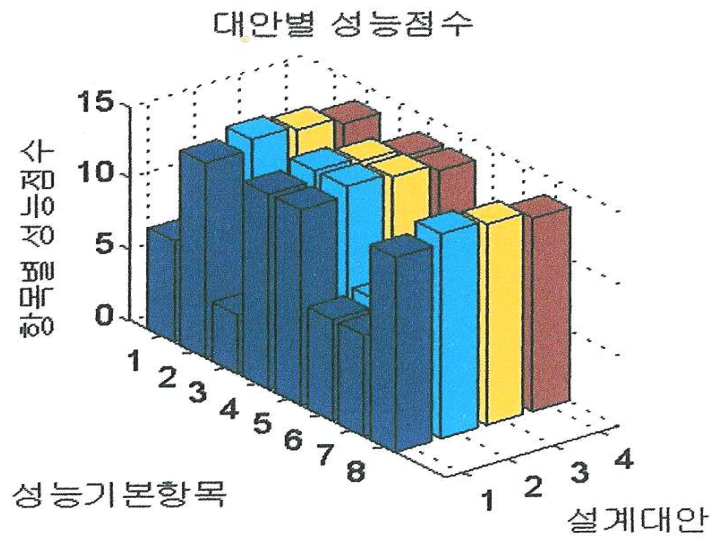


그림 5.60 호안의 대안별 성능점수의 평가

대안 1의 성능평가 기준항목별 성능점수는 시공 관리성이 7.3, 장애시설 연계성이 14.2, 구조적 안정성이 4.2, 상부 이용성이 14.2, 항로 간섭성이 14.2, 주변시설 영향성이 7.3, 원유 BUOY 영향성이 7.3, 항내정온성이 14.2로 우수하게 평가되었다.

그림 5.61는 성능평가 기준항목에 따라 퍼지로직의 절차에 준하여 호안의 대안별 가치평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

대안별 가치평가를 수행한 결과는 원안이 100.9, 대안 1이 97.5, 대안 3이 80.0, 대안 2이 74.0의 순으로 산정되었으며, 원안이 가치평가와 가치향상지수에서 다소 유리하게 분석되었음을 알 수 있다.

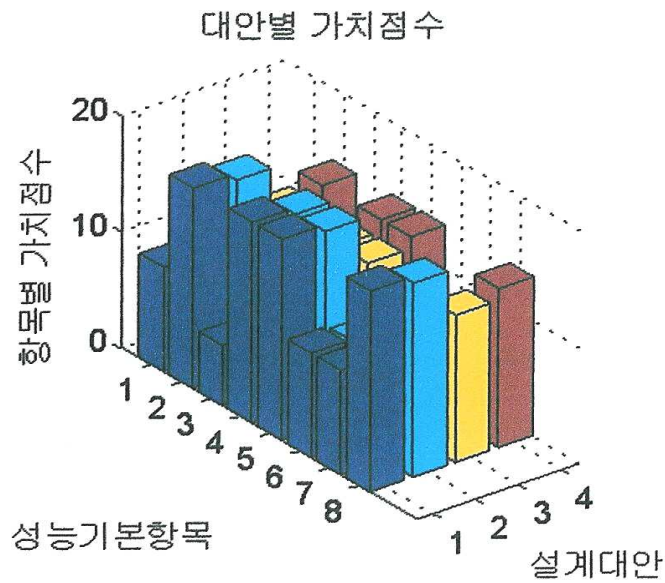


그림 5.61 호안의 대안별 가치점수의 평가

원안의 성능평가 기준항목별 가치점수는 시공 관리성이 8.9, 장래시설 연계성이 17.2, 구조적 안정성이 5.3, 상부 이용성이 17.2, 항로 간섭성이 17.2, 주변시설 영향성이 8.9, 원유 BUOY 영향성이 8.9, 항내 정온성이 17.3으로 우수하게 평가되었다.

그림 5.62~5.64는 호안의 대안별 보수·보강 전후 잔여수명의 평가, 유지관리조치 시기와 신뢰성지수의 평가 및 유지관리조치시기와 공용년수의 평가를 비교하여 나타낸 것이다.

그림 5.62와 같이 퍼지신뢰성 지수의 값으로 잔여수명을 추정한 결과는 보수·보강 전의 잔여수명은 대안 1이 8.7년, 대안 2는 7.1년, 원안은 5.2년, 대안 3은 4.7년의 순이고, 보수·보강 후의 잔여수명은 대안 1이 29.2년, 대안 2는 27.9년, 원안은 26.3년, 대안 3은 25.9년의 순으로 분석되었다.

따라서 잔여수명의 증가분은 원안은 21.1년, 대안 1은 20.5년, 대안 2는 20.8년, 대안 3은 21.2년으로 결과가 분석되어 대안 1이 잔여수명측면에서 다소 유리함을 알 수 있다.

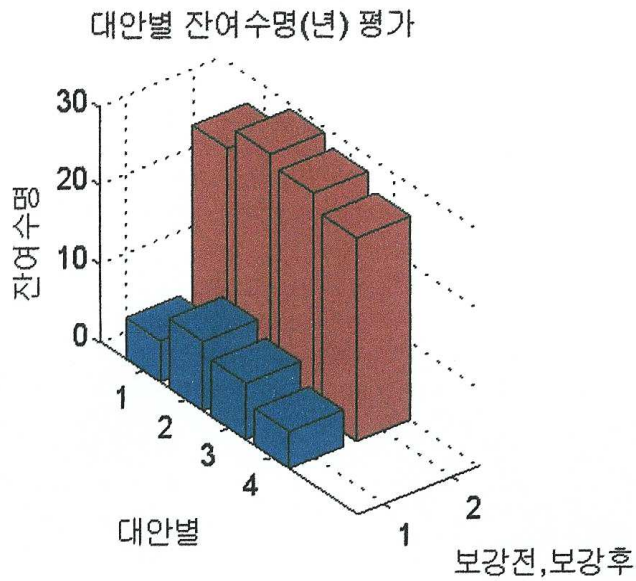


그림 5.62 호안의 대안별 보수·보강 전후의 잔여수명의 평가

그림 5.63과 같이 대안별 유지관리 조치시기에 있어 1차 유지관리 조치는 대안 1이 29.2년, 대안 2는 27.9, 원안은 26.3년, 대안 3은 25.9년의 순으로 분석되었다.

2차 유지관리 조치는 대안 1이 49.7년, 대안 2는 48.7년, 원안은 47.4년, 대안 3은 47.1년의 순이며, 3차 유지관리 조치는 대안 1이 70.1년, 대안 2는 69.4년, 원안은 68.6년, 대안 3은 68.3년의 순으로 추정되었으며, 유지관리조치 1, 2, 3차에서 대안 1이 유리하게 분석되었다.

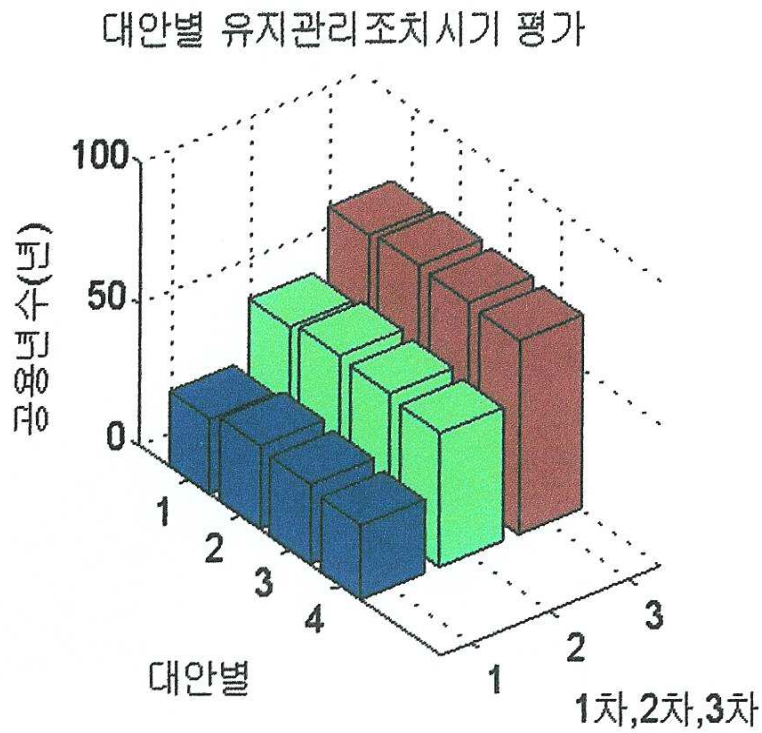


그림 5.63 호안의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 공용년수의 평가

그림 5.64와 같이 대안별 성능지수를 통해 신뢰성 해석을 수행한 결과, Kanda의 해석방법에 의해 산정된 신뢰성지수는 대안 1, 대안 2, 원안, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 2.76, 2.71, 2.63, 2.61이고, 본 연구의 방법에 의한 퍼지신뢰성 지수는 대안 1, 대안 2, 원안, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 2.64, 2.56, 2.45, 2.42로 산정되었으며, 대안 1이 다소 유리하게 분석되었음을 알 수 있다.

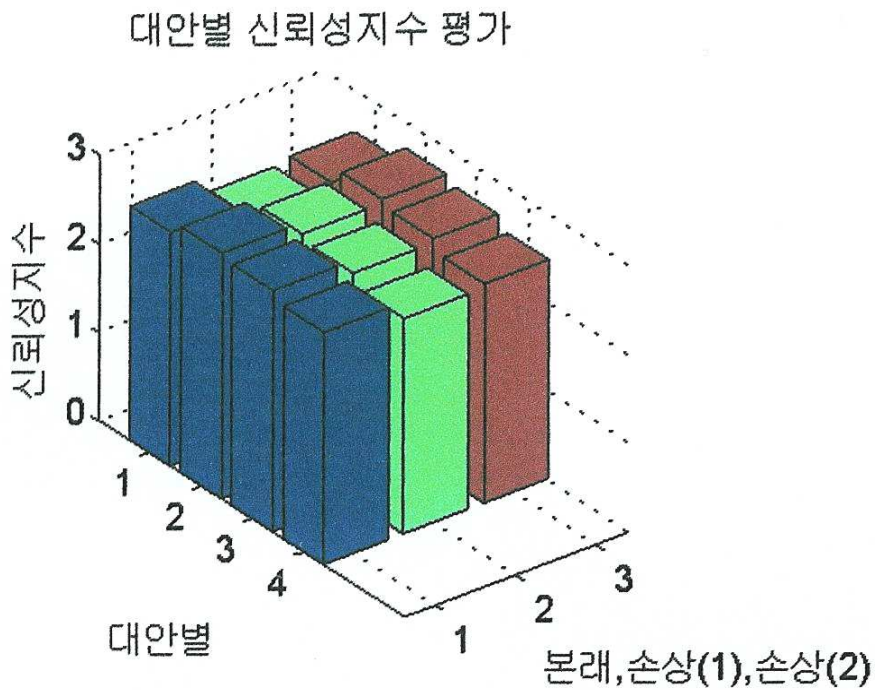


그림 5.64 호안의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 신뢰성지수의 평가

그림 5.65와 같이 대안별 경제성 분석결과는 원안은 28.8%, 대안 1이 22.5%, 대안 3은 11.0%, 대안 2는 0.0%의 순으로 원안이 가장 경제적으로 분석되었음을 알 수 있다.

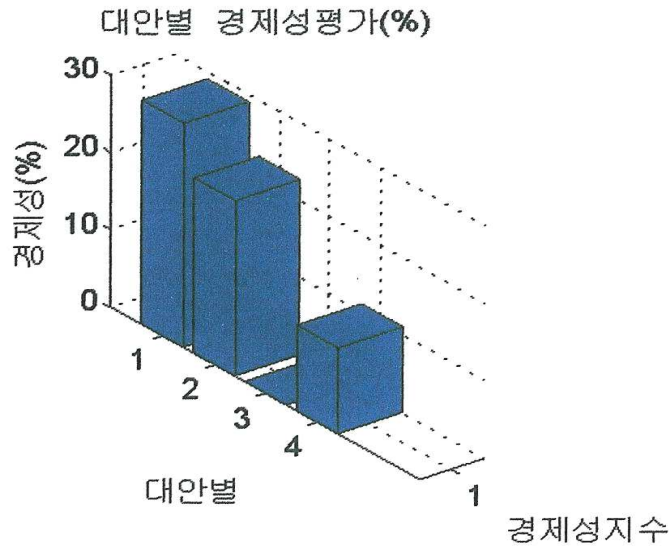


그림 5.65 호안의 대안별 경제성 평가

그림 5.66과 같이 대안별 호안의 상태지수는 대안 1, 대안 2, 원안, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 0.395, 0.439, 0.501, 0.520이며, 기능지수는 대안 1, 대안 2, 원안, 대안 3의 순으로서 그 값은 각각 0.833, 0.809, 0.773, 0.763이고, 성능지수는 대안 1, 대안 2, 원안, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 0.829, 0.810, 0.787, 0.782로 산정되었다.

퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석을 위한 대안별 평가지표 산정결과에서 상태향상 지수의 대안 1은 24.0%, 대안 2는 16.0%, 원안은 4.0%, 대안 2는 0.0%이며 기능향상 지수의 대안 1은 9.0%, 대안 2는 6.0%, 원안은 1.0%, 대안 2는 0.0%로 분석되었다.

또한 성능향상지수의 대안 1은 6.0%, 대안 2는 4.0%, 원안은 1.0%, 대안 3은 0.0%로 산정되어 상태와 기능 및 성능 면에서 비교 분석결과는 다소 대안 1이 유리하게 분석되었음을 알 수 있다.

대안별 기능,상태,성능지수 평가

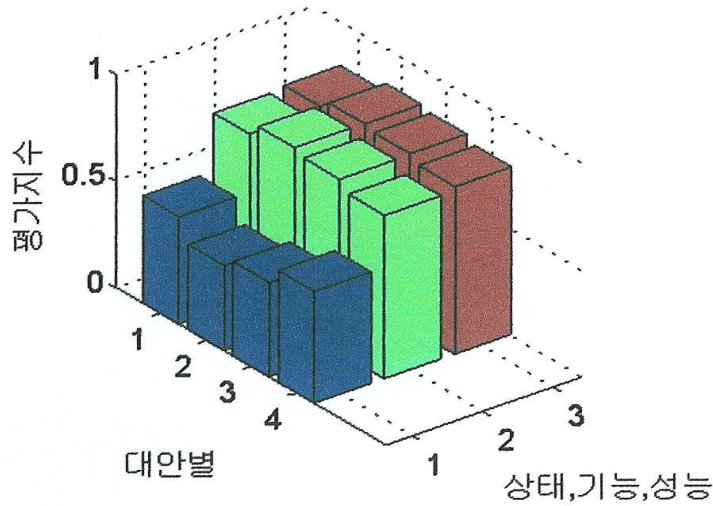


그림 5.66 호안의 대안별 상태·기능·성능지수의 평가

그림 5.67과 같이 대안별 호안의 성능지수는 대안 1, 대안 2, 원안, 대안 3의 순으로 그 값은 각각 0.829, 0.810, 0.787, 0.782이며, LCC 지수는 원안, 대안 1, 대안 3, 대안 2의 순으로 그 값은 1.00, 1.098, 1.25, 1.40이고, 가치지수는 원안, 대안 1, 대안 3, 대안 2의 순으로 그 값은 1.009, 0.975, 0.800, 0.740으로 산정되었다.

퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석을 위한 대안별 평가지표 산정결과에서 성능향상 지수의 대안 1은 6.0%, 대안 2는 4.0%, 원안은 1.0%, 대안 3은 0.0%이며 비용절감지수는 원안이 29.0%, 대안 1이 21.0%, 대안 3은 11.0%, 대안 2는 0.0%로 분석되었다.

또한 가치향상지수는 원안이 36.0%, 대안 1이 32.0%, 대안 3이 8.0%. 대안 2가 0.0%로서 성능은 대안 1이 양호하나, LCC와 가치 면에서는 원안이 우수하게 분석되었음을 알 수 있다.

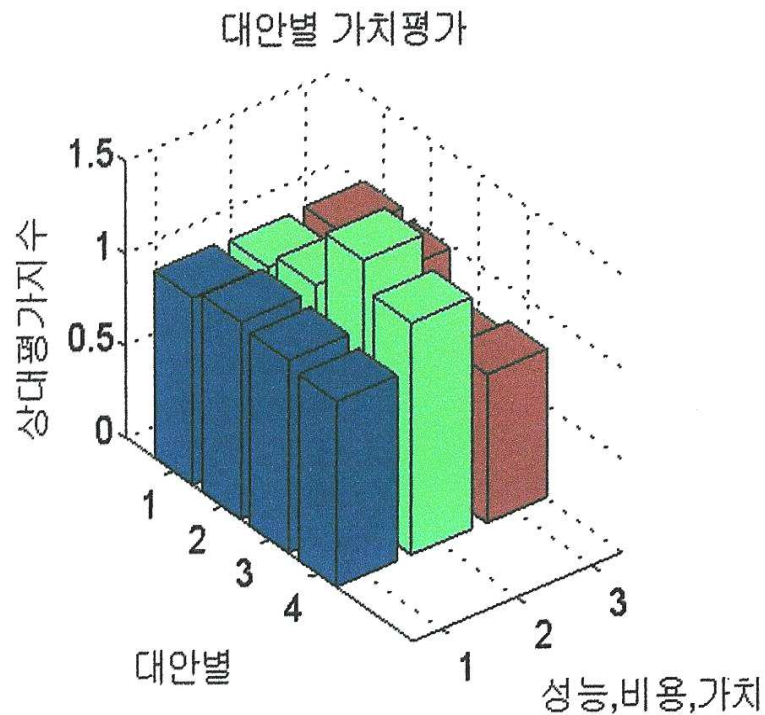


그림 5.67 호안에 대한 대안별 성능·비용·가치 평가의 비교

그림 5.68~5.69는 호안의 대안별 유지관리 조치시기에 따른 LCC 평가 및 투자비에 따른 총 LCC 평가를 수행하여 그 결과를 나타낸 것이다.

그림 5.68과 같이 1차 유지관리비에서는 1차, 2차, 3차, 4차의 유지관리비측면에서 모두가 대안 1이 가장 우수하게 분석되었다.

그림 5.69와 같이 초기·직접·간접투자비에 따른 총 LCC는 대안 1이 모두 비용측면에서 가장 우수하게 평가되어 경제적인 최적의 설계안으로 분석되었다.

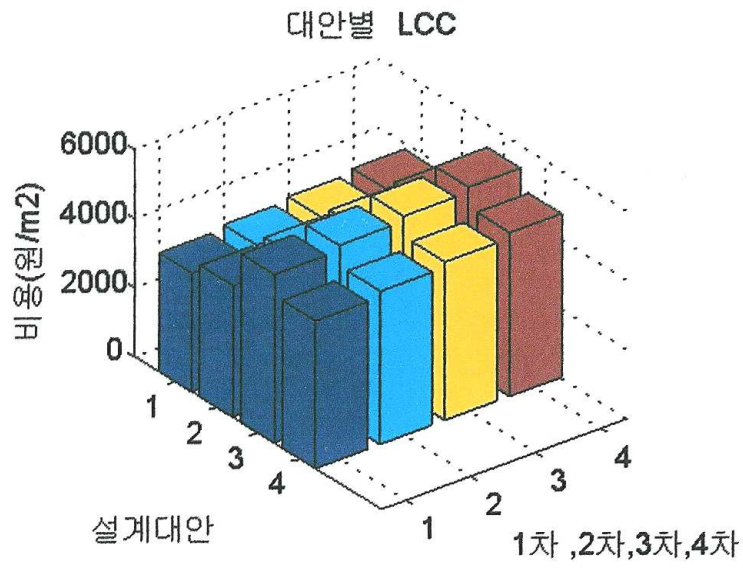


그림 5.68 호안의 대안별 유지관리 조치시에 따른 LCC 평가

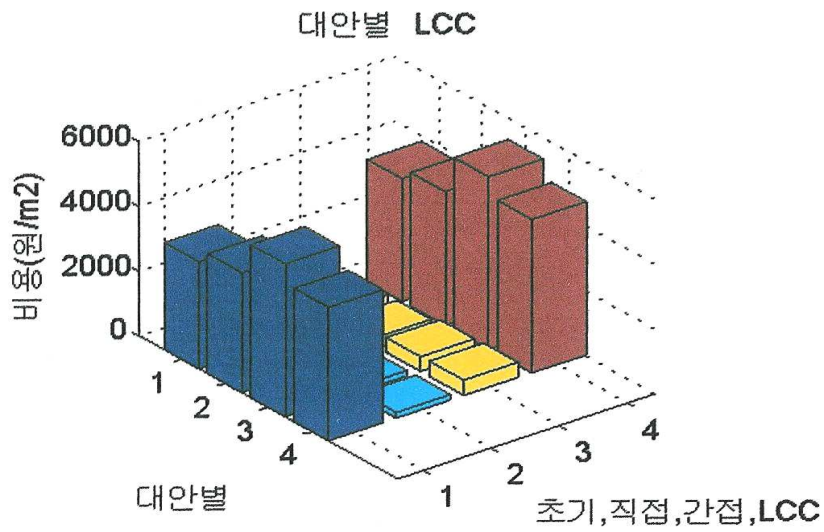


그림 5.69 호안의 투자비에 따른 총 LCC 평가

방과제 및 안벽 구조물에 대한 통합 가치분석을 실시한 결과는 상태지수, 성능지수, 상대 LCC 지수, 신뢰성지수, 가치향상지수, 경제성 평가, 유지관리전략 등 정성적, 정량적, 퍼지신뢰성 분석측면에서 모두 우수한 분석결과가 산정되는 대안 1이 가치혁신형으로 최적의 대안임을 알 수 있었다.

호안 구조물에 대한 통합 가치분석을 결과는 상태평가와 성능평가 및 잔여수명 평가 기능평가측면에서는 다소 불리하나, LCC 와 경제성 평가, 가치평가 및 가치향상지수 측면에서는 다소 유리한 결과가 나타나는 원안의 비용절감형이 최적의 대안으로 도출할 수 있었다.

퍼지신뢰성에 의한 항만구조물의 열화성능평가와 유지관리조치의 수준별 상대 LCC 지수를 이용한 시간의존적 LCC 분석모델과 상대가치지수를 이용한 생애주기 동안의 자산가치 분석모델 및 신뢰성지수를 이용한 생애주기 프로파일을 구축하여 사후 및 예방유지관리 조치를 취하고, 현재와 미래상태의 유지관리 전략을 합리적으로 결정하기 위한 경제성 분석을 할 수 있었다.

항만구조물의 VE/LCC 분석은 전문가의 주관성이나 경험에 기초한 정성적인 평가와 불확실성 및 변동성과 열화성능을 고려한 정량적 평가를 동시에 반영한 퍼지신뢰성 이론을 이용한 생애주기비용으로 통합 가치분석 방법론을 제시하였으며, 향후 전체 항만구조물 및 사회기반 시설물로의 확대적용이 가능한 기초를 마련하였다.

방과제와 안벽 및 호안 구조물의 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 통합가치 분석을 CALIFE 프로그램 데이터 출력을 통해서 기능평가와 성능평가 및 신뢰성평가, LCC 평가, 가치평가 등을 상호 비교 평가를 실시하여 최적의 대안을 용이하게 선정할 수 있었다.

본 연구를 통해 미래의 유지관리전략을 위한 잔여수명 및 유지관리조치 시기 등을 비교 분석하여 생애주기비용 및 가치분석을 수행함으로써 확정적 방법에 비해 보다 합리적이고 과학적인 방법으로 최적의 대안을 선정할 수 있는 신뢰성을 보여주고 있다.

지금까지 건설공사 설계에 대한 대안별 경제성의 검토는 단순히 평가항목의 기능과 비용함수를 적용하여 확정적 가치평가 분석을 하고 있을 뿐이며, 특히 항만구조물에 대한 가치평가 및 분석 시스템은 미비한 실정이다.

따라서 본 연구의 퍼지신뢰성 이론에 의한 VE/LCC 분석모델을 항만공사의 사업의 타당성 검토와 설계에 적용하여 최적의 설계안을 선정하는 경우에는 보다 경제적인 사업성과를 끌어 낼 수 있을 것으로 판단된다.

제6장 결 론

본 연구에서는 퍼지신뢰성 이론을 도입하여 항만구조물의 열화성능을 평가한 후 퍼지신뢰성 해석에 따른 생애주기비용으로 통합가치를 분석할 수 있는 VE/LCC 분석 모델과 방법론을 구축하기 위한 MATRAB용 "CALLIFE" 프로그램을 개발하였다.

또한 구축된 VE/LCC 분석 프로그램의 신뢰성과 활용성을 향상시키기 위한 측면에서 방파제와 안벽 및 호안의 항만구조물에 적용하여 정성적 성능평가와 정량적 LCC평가 및 퍼지신뢰성 이론에 따른 통합 가치분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 방파제 및 안벽 구조물에 대한 통합 가치분석을 실시한 결과, 상태지수, 성능지수, 상대 LCC 지수, 신뢰성지수, 가치향상지수, 경제성평가, 유지관리전략 등의 정성적, 정량적, 퍼지신뢰성 분석측면에서 모두 우수한 분석결과가 산정되는 가치혁신형이 최적의 설계안임을 알 수 있었다.
2. 호안 구조물의 정성적인 기능 및 열화성능 평가측면에서는 다소 불리하나, 정량적인 LCC 와 경제성 평가 및 퍼지신뢰성에 의한 가치향상지수면에서는 다소 유리한 결과가 도출되는 비용절감형이 최적의 설계안으로 분석되었다.
따라서 최종적으로 퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석의 결과로부터 최적의 설계안을 도출함이 기존의 확정론적 VE/LCC 분석방법에 비해 보다 합리적인 방법으로 나타났다.
3. 퍼지신뢰성에 의한 항만구조물의 열화성능평가와 유지관리조치의 수준별 상대 LCC 지수를 이용한 시간의존적 LCC 분석모델과 상대가치지수를 이용한 생애주기 동안의 자산가치 분석모델 및 신뢰성지수를 이용한 생애주기 프로파일을 구축하여 사후 및 예방유지관리 조치를 취하고, 현재와 미래상태의 유지관리 전략을 합리적으로 결정하기 위한 경제성 분석을 할 수 있었다.

4. 항만구조물의 VE/LCC 분석은 전문가의 주관성이나 경험에 기초한 정성적인 평가와 불확실성 및 변동성과 열화성능을 고려한 정량적 평가를 동시에 반영한 퍼지신뢰성 이론을 적용하여 생애주기비용으로 통합 가치분석 방법론을 제시하였으며, 향후 전체 항만구조물 및 사회기반 시설물로의 확대적용이 가능한 기초를 마련하였다.
5. CALLIFE 프로그램의 VE/LCC 분석에서는 기존의 확정론적 방법에 의한 결과가 퍼지신뢰성에 따른 데이터의 동시출력을 통해서 기능평가와 성능평가, 신뢰성평가 및 LCC 평가, 가치평가항목 등을 상호간의 비교분석이 가능하여 최적의 설계안을 용이하게 선정할 수 있으므로 확정론적 방법에 비해 보다 경제적이고 효율적인 의사결정방법임을 알 수 있었다.

항만구조물의 자산관리체계는 공학적·회계학적 및 경영학적 분석체계가 종합적으로 구축되어야 하는데, 본 연구결과에서와 같이 퍼지신뢰성에 의한 VE/LCC 분석모델은 항만구조물의 잔여수명 예측과 유지관리 전략분석 및 자산가치 평가 등 자동화식 의사결정체계를 갖추고 있기 때문에 향후 항만구조물 등을 포함하는 사회간접자본 시설의 자산관리 체계가 D/B화된다면 보다 신뢰성 있는 생애주기비용 및 통합 가치분석 체계를 확립할 수 있을 것으로 예측된다.

참 고 문 헌

1. 안중필 · 박주원 · 유덕찬(2006), “안벽시설물의 퍼지신뢰성 기반 LCC 및 통합 가치분석 모델”, 2006년도 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 601-605.
2. 안중필 · 박주원 · 유덕찬(2006), “하수관거의 퍼지신뢰성 기반 LCC 및 가치분석 모델”, 한국구조물진단학회 봄 학술발표회 논문집, 제10권 제1호, pp. 387-397.
3. 안중필 · 유덕찬 · 박경호(2005), “터널과 교량에 대한 VE/LCC 분석에 관한 연구”, 2005년도 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 5579-5582
4. 안중필 · 박상범 · 박경호 · 유덕찬 · 김일구(2006), “퍼지신뢰성 기반에 의한 호안구조물의 VE/LCC 분석”, 한국구조물진단학회 정기총회 및 가을 학술발표대회 논문집, pp.281-290.
5. 안중필 · 박경호 · 유덕찬(2004), “VE/LCC 개념을 도입한 항만구조물의 최적형식선정”, 2004년도 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 5586-5591
6. 박경호(2004), “건설VE를 위한 터널의 LCC 분석 시스템 개발”, 조선대학교 대학원 박사학위논문, pp. 16-32
7. 임종권 · 최영민 · 김용수(2006), “가치공학의 원리”, 구미서관, pp. 9-41.
8. 나기현 · 박주원 · 이증빈 · 정철원(1998), “Fuzzy 개념을 이용한 RC 도로교의 건전성 평가 모델 개발”, 한국구조물진단학회지 제2권 제2호
9. 이증빈 · 김종길 · 손용우 · 이채규 · 안영기(2003), “교량 구조시스템의 유지관리를 위한 퍼지신뢰성 해석모델”, 한국구조물진단학회 가을학술발표회 논문집, 제7권 제2호, pp. 41-52.
10. 이증빈 · 안영기 · 임정순(2002), “인공지능기술을 이용한 교량구조물의 생애주기비용 분석모델”, 한국구조물진단학회 논문집, 제6권 제4호, pp. 189-199.
11. 이증빈 · 손용우 · 박철수(2002), “퍼지 의사결정기법을 이용한 RC 구조물의 건전성 평가”, 한국전산구조공학회 봄 학술발표회 논문집, 제15권 제1집, pp. 274-283.
12. 조효남 · 한봉구(1994), “강구조공학”, 구미서관 pp. 377-421
13. 최용연(1999), “퍼지공학 입문”, 웅보출판사 pp. 123-134

14. 보성건설주식회사(2003), “광양항 중마 일반부두 축조공사 VE/LCC 평가보고서”.
15. 대림산업주식회사(2003), “울산신항 남방과제 (제1공구) 축조공사 VE/LCC 평가보고서”
16. 현대건설주식회사(2003), “광양항 제3단계 컨테이너 부두 개발공사 VE/LCC 평가보고서”
17. 현대건설주식회사(2003), “울산신항 남방과제 (제1공구) 축조공사 VE/LCC 평가보고서”.
18. 대림산업주식회사(2006), “제주의항 제2단계 시설공사 VE/LCC 평가보고서”
19. 한국해양연구원(2000), “항만구조물 신뢰성 해석 관련자료(1) (2)”
20. 건설교통부(2003), “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(항만)”
21. 건설교통부(2002), “염해 및 탄산화에 대한 철근콘크리트 구조물의 내구성 설계/시공/유지관리지침(안)”
22. 건설교통부(2002), “LCC 개념을 도입한 시설안전관리 체계 선진화 방안 연구”
23. 한국건설기술연구원(1999), “해사 사용시 염화물이 콘크리트 내구성에 미치는 영향에 관한 조사 연구”
24. 한국건설기술연구원(1999), “콘크리트 구조물의 철근 부식도에 관한 연구 조사”
25. 한국건설기술연구원(2001), “RC 구조물의 철근 부식방지 및 보수공법 시스템화 연구”
26. 한국건설기술연구원(2001), “콘크리트 구조물의 내구성인자 중장기 조사 연구”
27. 한국도로공사(2002), “고속도로 교량의 구성요소별 생애주기비용 분석 연구”
28. 장이채(1998), “퍼지과학의 세계, 교우사 pp. 5-42
29. 조효남·임종권·심성택(2001), “기대 생애주기비용의 최소화에 의한 교량의 최적 내진 신뢰성”, 대한토목학회논문집, 제21권 제2-A호, pp. 295-306.
30. 조효남·민대홍·이광민(2001), “강상관교의 생애주기비용 최적설계, 한국강구조학회논문집”, 제13권 제4호, pp. 337-349.
31. 조효남·최현호·정평기·임종권(2001), “LMC 교면포장공법의 생애주기비용 분석에 관한 연구”, 한국구조물진단학회 논문집, 제5권 제4호, pp. 185-195.
32. 정평기·서종원(2005), “생애주기비용에 기초한 항만시설의 다단계 설계 의사 결정(I)”, 대한토목학회논문집, 제25권 제5D호, pp. 697-705.

33. 정평기·서종원(2005), “생애주기비용에 기초한 항만시설의 다단계 설계 의사 결정(Ⅱ)”, 대한토목학회논문집, 제25권 제5D호, pp. 707-719.
34. 임종권(1999), “구조수명간 최소기대비용에 기초한 교량의 최적 내진안전수준의 결정을 위한 신뢰성 해석기법”, 한양대학교 대학원 박사학위논문.
35. 최길대·전명진(2002), “교량유지관리체계에 수명주기비용 분석기법의 적용”, 대한토목학회 논문집, 제22권 제1-A호, pp. 193-200.
36. 최길대(2001), “수명주기비용 분석기법을 적용한 교량유지관리 방안에 관한 연구”, 중앙대학교 대학원 박사학위논문 pp. 34-39.
37. 안장원·김용수(2002), “교량 상부구조 형식별 LCC 분석 및 비교에 관한 사례 연구”, 대한토목학회논문집, 제22권 제2-D호, pp. 295-306.
38. 심종성·김민수·김성엽(2002), “철근콘크리트 교량 바닥판의 보수·보강을 위한 전문가 시스템 알고리즘 구성”, 한국전산구조공학회 봄 학술 발표회 논문집, 제6권 제1호, pp. 201-206.
39. 김성욱·하진규·김도겸·이종석·김방욱(2001), “콘크리트 교량의 염해 내구성 평가 기술 개발”, 한국건설기술원 pp. 28-35.
40. 방명석(1994), “강교설계의 기초”, 건설도서 pp. 49-62.
41. 김광섭(1997), “퍼지기법을 이용한 건설공사의 확률적 위험도 분석평가”, 한양대학교 대학원 석사학위 논문 pp. 14-19.
42. 오성권(1999), “퍼지모델 및 제어이론과 프로그램”, 기다리 pp. 11-155
43. 박진범(1996), “퍼지추론에 의한 철근콘크리트 뼈대 구조물의 최적설계에 관한 연구”, 전북대학교 대학원 석사학위논문 pp. 52-56.
44. 손진현(1997), “도로 보수우선순위 결정을 위한 최적화기법의 개발”, 중앙대학교 대학원 박사학위논문 pp. 33-39.
45. 원제무·손기복(1996), “퍼지이론을 이용한 도시철도 노선평가에 관한 연구”, 대한 국토도시계획학회지, 제31권 제5호, pp. 241-252.
46. 유동선·이교원(1999), “기초 퍼지이론”, 교우사 pp. 8-40.

47. 이승열(1991), “Fuzzy 집합론을 이용한 철근 콘크리트 보의 최적설계”, 연세대학교 대학원 석사학위논문 pp. 44-47.
48. 이승재(1994), “고속철도 교량의 전산화 유지관리를 위한 신뢰성에 기초한 건전성 평가 모형”, 한양대학교 대학원 박사학위논문
49. 조원신(1992), “퍼지집합론을 이용한 교량 내하력 평가의 보정계수 산정”, 연세대학교 대학원 석사학위논문 pp. 18-39.
50. 古田均 외5인(1992), “퍼지이론의 토목공학으로 응용”, 森北出版
51. 古田均 · 杉本博之(1997), “유전적 알고리즘의 구조공학으로의 응용”, 森北出版
52. 白石成人 · 古田 · 池島賢治(1982), “신뢰성 해석법으로 퍼지이론의 적용에 관한 기초적 연구”, 토목공학회논문집, No.325, pp. 1-10.
53. 西村沼 · 勝井學 · 官本文穂 · 小笠勝(1987), “구조물의 건전도 진단으로의 퍼지집합론의 적용에 관한 기초적 연구”, 토목학회논문집, No.428/I-15
54. 일본퍼지학회(1992), “강좌 퍼지3, 퍼지속도 측정”, 일간공업신문사
55. 中村秀明 · 官本文穂 · 河村圭(1997), “유전적 알고리즘에 의한 기존교량의 최적 유지관리 계획의 책정”, 일본토목학회 제5회 시스템 최적화에 관한 심포지움 강연 논문집 pp. 49-54.
56. 清水側一 · 櫻井春輔(1986), “퍼지이론을 이용한 암반분류의 구성방법에 관한 연구”, 토목학회논문집, Vol.370/III-5
57. Chou. T.(1991), “Optimum Safety Indices Based on Expected Total Cost Minimization”, Journal of Structural Engineering (in Japanese), VOL, 37A, pp. 543-555.
58. Enright, M.P, Frangopol, D.M(1998), “Service-life Prediction of Deteriorating Concrete Bridges Journal of Structural Engineering”, Vol 124, No3, pp. 309-317.
59. Frangopol, D.M, and Enright, M.P(1999), “Reliability-based Condition Assessment of Deteriorating Concrete Bridges Considering Load Redistribution, Structural Safe”, Elsevier, 21(2), pp. 159-195.

60. Frangopol, D.M, and Enright, MP(1998), "Probability Analysis of Resistance degradation of Reinforced Concrete Bridge Beams under Corrosion", *Engineering Structures*, Elsevier, 20(11), pp. 960-971.
61. Frangopol, D.M, Lin, K-Y, and Estes, A.C.(1997), "Life-Cycle Cost Design of Deteriorating Structures", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 123, No.10, October, pp. 1390-1401.
62. Gharaibeh, E.S, Frangopol, D.M., and Onoufriou, T.(2002), "Reliability based Importance Assessment of Structural Members with Applications to Complex Structures", *Computer and Structures*, Elsevier, pp. 1113-1131.
63. Hines, J(1997), "Fuzzy and Neural Approaches in Engineering", Wiley Inter · Science
64. Kong, J.S, Frangopol, D.M.(2003), "Life-Cycle Reliability-Based Maintenance Cost Optimization of Deteriorating Structures with Emphasis on Bridges", *Journal of Structural Engineering*, Vol 129, No.6, pp. 818-828.
65. Kanda, J, and Adachi, T.(2001), "Influence of Probability Distribution of Load on Optimum Reliability", *Reliability Engineering and System Safety*, Elsevier 73, pp. 197-204.
66. Oshima, T, Mikami, S., Tamba, I., and Ikeda, K(2002), "Asset Evaluation of Each Bridge Member and Analysis of Bridge Health Index(BHI)", *Journal of Structural Engineering* (in Japanese), I-59, No. 703, pp. 53-65.
67. Takashi, N(2001), "Reliability Based Design Way for Caisson Type Breakwaters", *Journal of The Japan Society of Civil Engineering*, No.689, I-57, pp. 173-182.
68. Takashi, N.(2003), "Reliability Based Design Method for Flexural Design of Caisson Type Breakwaters", *Journal of The Japan Society of Civil Engineering*, No.696, I-58, pp.173-184.
69. Zadeh, L.(1965), "Fuzzy Sets", *Information and Control*, Vol. 8.

-요 지-

논문제목 : 퍼지신뢰성 이론에 의한 항만구조물 VE/LCC 분석에 관한 연구

현재 항만구조물의 설계단계에서 VE/LCC 분석은 공법의 선정, 건설비용 및 유지관리 비용 등을 중심으로 전문가의 정성적인 평가만이 이루어져 왔고 항만구조물의 성능을 향상시키고 비용을 최소화 할 수 있는 최고가치 대응방안은 미흡하여 주관적 정보의 애매성을 다루는 퍼지이론의 도입이 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 주관적 신뢰성해석 모델개발의 기초단계로서 퍼지확률과 같은 파괴가능성 이론을 도입하여 퍼지신뢰성 해석을 수행하였고, 퍼지로직 틀박스를 이용하여 항만구조물의 열화성능을 평가한 후 퍼지신뢰성 해석에 따른 생애주기비용 및 통합가치를 분석할 수 있는 MATRAB용 “CALIFE” 프로그램을 개발하였다.

또한 구축된 프로그램의 신뢰성과 활용성을 검증하기 위해 방파제, 안벽 및 호안 구조물에 적용하여 퍼지신뢰성에 의한 통합 가치분석과 정성적 열화성능 평가 및 정량적 LCC 평가를 수행하였다.

방파제와 안벽 구조물에 대한 통합 가치분석을 실시한 결과, 상태지수, 성능지수, 상대 LCC 지수, 신뢰성지수, 가치향상지수, 유지관리 전략측면에서 모두 우수한 결론을 도출할 수 있는 가치혁신형이 최적의 설계임을 알 수 있었다.

그리고 호안 구조물에서는 기능 및 열화성능 평가측면에서 다소 불리하나, LCC와 퍼지신뢰성에 의한 가치향상지수측면에서는 다소 유리한 결과가 도출된 비용절감형이 최적의 설계안으로 분석되어 퍼지신뢰성 기반에 의한 통합 가치분석으로부터 최적의 안을 도출함이 기존의 확정론적 VE/LCC 분석방법에 비해 보다 합리적인 방법으로 나타났다.

본 연구에서는 퍼지신뢰성에 의한 항만구조물의 열화성능평가와 유지관리조치의 수준별 상대 LCC 지수를 이용한 시간의존적 LCC 분석모델과 상대가치지수를 이용한 생애주기 동안의 자산가치 분석모델 및 신뢰성지수를 이용한 생애주기 프로파일을 구축하여 사후 및 예방유지관리 조치를 취하고, 현재와 미래상태의 유지관리 전략을 합리적으로 결정하기 위한 경제성 분석을 할 수 있었다.

항만구조물의 VE/LCC 분석은 전문가의 주관성이나 경험에 기초한 정성적인 평가와 불확실성 및 변동성과 열화성능을 고려한 정량적 평가를 동시에 반영한 퍼지신뢰성이론을 이용한 생애주기비용으로 통합 가치분석 방법론을 제시하였으며, 향후 전체 항만구조물 및 사회기반 시설물로의 확대적용이 가능한 기초를 마련하였다.

CALLIFE 프로그램의 VE/LCC 분석에서는 기존의 확정론적 방법에 의한 결과가 퍼지신뢰성에 따른 데이터의 동시출력을 통해서 기능평가와 성능평가, 신뢰성평가 및 LCC 평가, 가치평가항목 등을 상호간의 비교분석이 가능하여 최적의 설계안을 용이하게 선정할 수 있으므로 확정론적 방법에 비해 보다 경제적이고 효율적인 의사결정방법임을 알 수 있었다.

향후 항만구조물 등을 포함하는 사회간접자본 시설의 자산관리체계가 D/B화된다면 보다 신뢰성 있는 생애주기비용 및 통합 가치분석 체계를 확립할 수 있을 것으로 예측된다.

감사의 글

부끄럽지 않는 사람, 마지막까지 노력하는 사람이 되라는 안종필 지도교수님의 가르침으로 몇 번의 어려운 고비를 잘 넘기고 오늘의 박사논문을 마치게 되었습니다.

항상 처음처럼 변함없는 사랑과 열정으로 학문과 인생을 지도해주신 안종필 교수님께 고개 숙여 깊은 존경과 감사의 말씀을 올립니다.

귀중하고 소중한 시간을 내시어 본 논문을 심사하는 동안 조언과 격려 그리고 채찍을 아끼지 않고 지도해주신 심사위원장 조선대학교 심태섭 교수님, 서울시립대학교 이송 교수님, 동신대학교 공대학장 양우식 교수님, 조선대학교 공대학장 박길현 교수님께 감사의 말씀을 드립니다.

그리고 박사학위 과정 동안에 많은 가르침을 주신 토목과 교수님께도 감사의 말씀을 드리며, 특히 논문을 완성하는데 헌신적인 지도와 많은 도움을 해주신 이증빈 교수님, 박주원 박사님, 손영현 박사님, 최우진 박사님, 박경호 박사님, 박상범 박사님, 오은지 선생에게 진심으로 감사드립니다.

또한 많은 시간을 배려하여 주시고 물심양면으로 도와주신 보성건설 그룹 이기승 회장님께 감사드리며, 직장동료인 정필성 부장, 이주현 차장, 고민석, 이재홍, 최효숙, 윤지혜, 그리고 보성건설, 한양, 파인힐스 임직원 모든 분들에게 감사드립니다.

가족처럼 따뜻한 희망과 용기를 주신 임진택 사장님, 이우식 사장님, 강일원 박사님, 김관선 박사님, 김 신문 친구, 심양모 전무님, 박종두 이사님께 감사드립니다.

심사하는 마지막 그날까지 방문하여 격려하여 주신 안기문 사장님, 김일구, 서재우, 이정욱, 김규덕, 윤현주, 그리고 지반 산악회 회원님께 감사드리며 앞으로는 더욱더 모범된 사람이 되겠다는 약속도 전하고 싶습니다.

홀로 외로운 32년의 생활 속에서 우리 6남매를 지켜주시고 사랑으로 키워주신 어머니께 진심으로 깊이 감사드리며, 저와 동생의 박사학위를 어머니께 축복과 영광의 선물로 드리고자 합니다. 어머니! 진심으로 감사합니다.

예쁘고 착하게 아들과 딸을 잘 키워주고, 어머니 잘 보살펴 주시고, 경제적, 정신적인 어려움 속에서도 묵묵히 도와주고 격려를 아끼지 않는 아내에게 고마움을 전하고 싶습니다.

제가 좋아하는 옛 동료인 최형수 이사님, 고봉석 부장님, 김은식 사장님, 양종오 차장님, 상사로 모셨던 김주운 사장님, 김철균 사장님, 이종진 전무님, 존경하는 임관택 선배님, 서재홍 선배님, 유환신 사장님께 이 자리를 빌어서 감사의 말씀을 올립니다.

이해와 격려로서 항상 돌봐주신 민병대 서기관님, 안상완 서기관님, 남병덕 서기관님, 이종기 사무관님, 안덕수 사무관님, 김정선 사무관님, 유동수 서기관님, 김용기 서기관님, 윤순홍 사무관님, 장정기 사무관님, 유중곤 서기관님, 그리고 일하면서도 공부하라고 늘 격려해주신 정진섭 교수님, 이병구 교수님, 안송엽 교수님, 꺾계환 교수님, 전시영 교수님, 김민환 교수님, 이진수 교수님께 그동안 보살펴 준 은혜에 감사드립니다.

고향친구 한창희, 김동수, 박수철, 서재승, 김용희, 김용호, 원종산, 박기운, 문성환, 고등학교 친구 유정현, 윤정권, 정중호, 김태준, 오병윤, 정 건, 설당환, 전명렬, 정형래, 조승환, 진중식, 김갑중, 김재행, 김화중, 박현신, 대학교 친구 박형규, 조설현, 이중근, 김선태, 이양기, 박두균, 양창용 등 모든 친구들에게 감사함을 전하고 싶습니다.

그리고 강상철, 김희국, 김용완, 정동현, 이두봉, 김형도 고향 선배님과 다도중학교 동문 모든 분에게 감사드립니다.

건설업계에서 관심과 성원을 해주신 김석호 소장님, 박장수 상무님, 천길주 상무님, 신준호 지사장님, 신기호 지사장님, 이재영 상무님, 구세완 이사님, 정행면 전무님, 권찬 부장님, 이태일 이사님, 손진용 팀장님, 김용하 상무님, 정용권, 진형하 차장님, 임주영 상무님, 이원상 이사님, 이진국 이사님, 이명현 부사장님, 정종권 지사장님, 차승근 상무님, 김영길 전무님, 박재천 상무님, 문병홍 이사님, 김동원 이사님, 선병진 사장님, 송현삼 사장님, 이상환 사장님, 박길식 사장님, 백도인 사장님, 박종윤 사장님, 박석배 사장님, 박경재 사장님, 김봉식 사장님, 김도원 사장님, 박동욱 사장님, 이성림 사장님, 오권철 부사장님, 오관수 전무님, 김원택 사장님, 남기승 사장님께 감사드리며, 참 건설인의 모습으로 정도를 추구하는 표상이 되도록 일일신 노력을 하겠습니다.

대학교 생활의 몇 차례 휴학으로 학업을 중단할 위기에 있을 때마다 도와주신 주변 사람과 석사, 박사과정을 열정적인 지도와 제자들의 헌신적인 사랑으로 학위를 마치게 해주신 안종필 교수님께 다시 고개 숙여 감사드립니다.

지난 과거의 아픔, 고통, 슬픔, 후회, 망용, 욕심, 미움, 원망 등을 깊이 반성하고 앞으로는 더욱더 겸손하고 정직한 생활, 신의를 지키고 봉사하면서 헌신하는 삶, 용서와 사랑으로 아름다운 미래를 창조하는 자세로 최고의 가치 있는 인생을 살아갈 것을 제가 알고 있는 모든 분들에게 약속드립니다. 감사합니다.

2006년 12월

유 덕 찬 올림

저작물 이용 허락서

학 과	토목공학과	학 번	10341058	과 정	박사
성 명	한글: 유 덕 찬 한문: 劉 德 贊 영문: Yu, Deog-Chan				
주 소	광주광역시 북구 우산동 현대아파트 104동 303호				
연락처	E-MAIL : dcyoo08 @ hanmail.net				
논문제목	한글 : 퍼지신뢰성 기반에 의한 항만구조물의 VE/LCC 분석에 관한 연구				
	영문 : A Study on Fuzzy Reliability-Based VE/LCC Analysis in Harbor Structures				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의(0) 반대()

2007년 1월 일

저작자: 유 덕 찬 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하