



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士學位論文

설계단계에서의 소수거더교 공사비 추정 및
LCC에 기초한 경제성 평가

Economical Assessment Based on Life Cycle Cost and
Construction Cost Estimation of Phase Steel Plate Girder Bridge
in Design

指導教授 慶 甲 秀



2009 年 8 月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

朴 慧 妍

工學碩士學位論文

설계단계에서의 소수거더교 공사비 추정 및
LCC에 기초한 경제성 평가

Economical Assessment Based on Life Cycle Cost and
Construction Cost Estimation of Phase Steel Plate Girder Bridge
in Design

指導教授 慶 甲 秀



2009 年 8 月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

朴 慧 妍

本 論 文 을 朴 慧 妍 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 工 學 博 士 金 度 三 (印)

委 員 工 學 博 士 慶 甲 秀 (印)

委 員 工 學 博 士 金 泰 亨 (印)

2009 年 6 月 25 日

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

목 차

목차	i
표목차	iii
그림목차	vii
ABSTRACT	viii
요약	ix
1장. 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 기존연구동향	2
1.3 연구내용 및 범위	3
2장. 소수거더교의 공사비 분석 및 대표공종 산정	5
2.1 공사비 추정 기법	5
2.2 대상교량의 제원 및 특성	7
2.2.1 대상교량	7
2.2.2 대상교량의 공사비 분석	9
2.3 대상교량의 상부공 대표공종 선정 및 수량산출	14
2.3.1 대상교량의 대표공종 선정	14
2.3.2 단위물량 산출	16
2.4 추정 공사비의 검증	38
3장. 소수거더교의 단면 추정 및 공사비 산정	42
3.1 대상교량	42
3.2 소수거더교 구조해석 및 단면산정	46
3.2.1 구조해석	46
3.2.2 2거더의 단면 산정	46
3.2.3 3거더의 단면 산정	49

3.2.4 4거더 단면 추정	50
3.3 소수거더교의 설계단계 공사비 비교	51
4장. 소수거더교의 LCC예측 및 경제성 분석	54
4.1 LCC의 개념	55
4.1.1 LCC 구성항목	55
4.1.2 LCC 활용	57
4.2 LCC 분석방법	58
4.2.1 분석기간	58
4.2.2 할인율	59
4.2.3 시간적 가치 비용 산정 방법	59
4.3 LCC분석을 위한 가정	60
4.3.1 분석기간	60
4.3.2 할인율	61
4.4 LCC평가를 위한 비용분석	62
4.4.1 초기투자비	62
4.4.2 유지관리비	64
4.4.3 해체·폐기비 및 잔존가치	75
4.5 LCC 평가	76
4.6 민감도 분석	78
4.6.1 실질할인율에 따른 민감도 분석	78
4.6.2 바닥판 수명과 할인율에 따른 민감도 분석	80
5장. 결 론	82
5.1 결론	82
5.2 향후 과제	83
참고문헌	84

표목차

표 2-1 소수거더교의 프리캐스트 바닥판 대상교량 제원	7
표 2-2 소수거더교의 현장타설 바닥판 대상교량 제원	8
표 2-3 소수거더교의 프리캐스트 바닥판 교량의 단면제원	8
표 2-4 소수거더교의 현장타설 바닥판 교량의 단면제원	9
표 2-5 대상교량의 항목별 공사비 비율과 순공사비 비용	10
표 2-6 교량연장에 대한 공사비 관계	11
표 2-7 바닥판 면적에 대한 공사비 관계	11
표 2-8 거더중량에 대한 공사비 관계	12
표 2-9 강교의 제작, 가설 및 운반 비용 비율	12
표 2-10 교량 연장과 강교제작, 가설 및 운반비용의 관계	13
표 2-11 바닥판 면적과 강교제작, 가설 및 운반비용의 관계	13
표 2-12 소수거더교의 프리캐스트 바닥판 상부공사 공종별 공사비 비율	14
표 2-13 소수거더교의 현장타설 바닥판 상부공사 공종별 공사비 비율	15
표 2-14 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교제작과의 관계	16
표 2-15 강교제작에 대한 실제수량과 추정수량 비교	16
표 2-16 교량 경간수와 강교가설(영구조립)의 관계	17
표 2-17 강교가설(영구조립)에 대한 실제수량과 추정수량 비교	17
표 2-18 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교도장과의 관계	18
표 2-19 강교도장에 대한 실제수량과 추정수량 비교	18
표 2-20 바닥판 면적 및 연장과 콘크리트 타설량(철근, VIB포함)의 관계	18
표 2-21 콘크리트타설에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	19
표 2-22 콘크리트 타설량과 철근(연강,고강)과의 관계	19
표 2-23 철근량에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	19
표 2-24 바닥판 면적 및 교량 연장과 철근가공조립의 관계	19
표 2-25 철근가공조립에 대한 실제수량과 추정수량 비교	20
표 2-26 바닥판 면적 및 교량 연장과 합판거푸집(매끈한마감)의 관계	20
표 2-27 합판거푸집에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	20
표 2-28 바닥판 면적 및 교량 연장과 동바리(목재동바리4회)의 관계	21
표 2-29 동바리에 대한 실제수량과 추정수량 비교	21
표 2-30 바닥판 면적 및 교량 연장과 교면방수의 관계	21
표 2-31 교면방수에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	21
표 2-32 바닥판 면적 및 교량 연장과 프리캐스트용 강재거푸집의 관계	22
표 2-33 프리캐스트용 강재거푸집에 대한 실제수량과 추정수량 비교	22
표 2-34 바닥판 면적 및 교량 연장과 강선가공조립의 관계	23

표 2-35	강선가공조립에 대한 실제수량과 추정수량 비교	23
표 2-36	바닥판 면적 및 교량 연장과 그라우팅밀크의 관계	23
표 2-37	그라우팅 밀크에 대한 실제수량과 추정수량 비교	23
표 2-38	바닥판 면적 및 교량 연장과 PS강재긴장작업의 관계	24
표 2-39	PS강재긴장작업에 대한 실제수량과 추정수량 비교	24
표 2-40	바닥판 면적 및 교량 연장과 긴장정착장치의 관계	24
표 2-41	긴장정착장치에 대한 실제수량과 추정수량 비교	24
표 2-42	PC긴장작업의 나머지 공종 비율	25
표 2-43	단면제원과 PC긴장작업과의 관계	25
표 2-44	PC긴장작업 나머지 공종의 공사비 비교	26
표 2-45	평균에 의한 추정수량 산출	26
표 2-46	평균추정수량의 비교	26
표 2-47	공사비 비율에 따른 수량산출	26
표 2-48	바닥판 면적 및 교량 연장과 강교제작의 관계	28
표 2-49	강교제작에 대한 실제수량과 추정수량비교	28
표 2-50	경간수와 강교가설과의 관계	29
표 2-51	강교가설에 대한 실제수량과 추정수량 비교	29
표 2-52	바닥판 면적 및 교량 연장과 강교도장의 관계	30
표 2-53	강교도장에 대한 실제수량과 추정수량 비교	30
표 2-54	바닥판 면적 및 교량 연장과 콘크리트 타설과의 관계	31
표 2-55	콘크리트 타설에 대한 실제수량과 추정수량 비교	31
표 2-56	콘크리트 타설량과 철근과의 관계	31
표 2-57	철근량에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	31
표 2-58	바닥판 면적 및 교량 연장과 철근가공조립의 관계	32
표 2-59	철근가공조립에 대한 실제수량과 추정수량 비교	32
표 2-60	바닥판 면적 및 교량 연장과 합판거푸집의 관계	32
표 2-61	합판거푸집에 대한 실제수량과 추정수량 비교	32
표 2-62	바닥판 면적 및 교량 연장과 동바리의 관계	33
표 2-63	동바리에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	33
표 2-64	바닥판 면적 및 교량 연장과 Deck Finisher의 관계	33
표 2-65	Deck finisher에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	34
표 2-66	바닥판 면적 및 교량 연장과 그라우팅밀크의 관계	34
표 2-67	그라우팅에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	34
표 2-68	바닥판 면적 및 교량 연장과 쉬스관조립의 관계	34
표 2-69	쉬스관조립에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	35
표 2-70	바닥판 면적 및 교량 연장과 고정정착장치의 관계	35
표 2-71	고정정착장치에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	35

표 2-72 바닥판 면적 및 교량 연장과 긴장정착장치의 관계	35
표 2-73 긴장정착장치에 대한 실제수량과 추정수량의 비교	36
표 2-74 평균에 의한 추정수량산출	36
표 2-75 평균추정수량의 비교	36
표 2-76 공사비 비율에 따른 수량산출	37
표 2-77 프리캐스트 바닥판의 대표공종과 그 외 공종 비율	39
표 2-78 현장타설 바닥판의 대표공종과 그 외 공종 비율	39
표 2-79 공사비지수	40
표 2-80 프리캐스트 상부공사비 오차율	40
표 2-81 현장타설 상부공사비 오차율	40
표 3-1 대상교량 일반제원	43
표 3-2 대상교량의 단면제원	43
표 3-3 대표단면 일반제원	45
표 3-4 중앙부 및 지점부의 평균단면제원	45
표 3-5 허용응력에 대한 대상교량 응력비교	47
표 3-6 2거더교의 중앙부 및 지점부 대표단면 제원	48
표 3-7 3거더교의 중앙부 및 지점부 대표단면 제원	49
표 3-8 4거더교의 중앙부 및 지점부 대표단면 제원	51
표 3-9 거더개수에 대한 공사비 보정계수	52
표 3-10 대표단면의 거더개수에 따른 공사비 비교	52
표 3-11 항목별 구성 비율을 이용한 전체 공사비 산정	53
표 4-1 교량 LCC 구성항목	56
표 4-2 교량의 공용년수	58
표 4-3 교량의 분석기간 선정 기준	59
표 4-4 OECD 국가별 교량의 공용년수	61
표 4-5 교량형식에 따른 공용년수	61
표 4-6 이자율, 물가상승률에 따른 연도별 실질할인율	62
표 4-7 거더별 초기공사비 산정	63
표 4-8 건설 공사비에 따른 업무별 효율	63
표 4-9 설계비와 감리비 비용산정	64
표 4-10 연간 교량 유지관리 인건비	64
표 4-11 교량 형식별 연간 일반관리비	65
표 4-12 연간 일반관리비	65
표 4-13 교량의 기준과 직접인건비 기준 인원수	66
표 4-14 교량의 조정비(제 5조 제 1항 관련)	66
표 4-15 직접경비 대가기준(제 8조 관련)	68
표 4-16 점검 및 진단 소요 인원수	68

표 4-17	점검 및 진단비용	69
표 4-18	항목별 유지관리비용 적용비율(초기공사 대비)	69
표 4-19	현장타설 바닥판 교량의 유지보수비	70
표 4-20	프리캐스트 바닥판 교량의 유지보수비	70
표 4-21	교량의 보수·교체주기	71
표 4-22	차량운행비용 산출관련 변수	72
표 4-23	차량속도별 연료소모량의 계수	72
표 4-24	일일평균교통량	73
표 4-25	국내 차종별 평균 중량과 평균 적재중량	73
표 4-26	일반국도를 통과하는 차종별 평균 구성비	74
표 4-27	일평균 사용자비용	74
표 4-28	시설물의 교체소요기간	75
표 4-29	교량의 시간별 해체·폐기비용 및 잔존가치	75
표 4-30	시간 55m일때의 해체·폐기비용 및 잔존가치	75
표 4-31	현장타설 바닥판교량의 LCC 구성비율	76
표 4-32	프리캐스트 바닥판 교량의 LCC 구성 비율	77
표 4-33	할인율에 따른 LCC 변화 예측	79



그림목차

그림 2-1 대상교량의 거더 및 가로보 형상	8
그림 2-2 교량 연장과 공사비의 관계	10
그림 2-3 바닥판 면적과 공사비의 관계	10
그림 2-4 거더의 중량과 순공사비의 관계	11
그림 2-5 바닥판 면적과 강교제작, 운반 및 가설과의 관계	13
그림 2-6 교량 연장과 강교제작, 운반 및 가설과의 관계	13
그림 2-7 바닥판 면적과 강교제작과의 관계	17
그림 2-8 교량 연장과 강교제작과의 관계	17
그림 2-9 프리캐스트 바닥판 교량의 실제수량과 추정수량 비교	27
그림 2-10 바닥판 면적과 강교제작과의 관계	29
그림 2-11 교량 연장과 강교제작의 관계	29
그림 2-12 현장타설 바닥판 교량의 실제수량과 추정수량 비교	37
그림 2-13 프리캐스트 상부공 전체 공사비 산출방법	39
그림 2-14 현장타설 상부공 전체 공사비 산출방법	39
그림 2-15 프리캐스트 상부공사비 오차율	41
그림 2-16 현장타설 상부공사비 오차율	41
그림 3-1 2거더교의 구조해석 모델	46
그림 3-2 평균대표단면의 구속조건	47
그림 3-3 2거더교의 횡평면도	48
그림 3-4 2거더교의 평면도	48
그림 3-5 2거더교의 종평면도	48
그림 3-6 3거더의 횡평면도	50
그림 3-7 3거더의 종평면도	50
그림 3-8 4거더의 횡평면도	51
그림 3-9 4거더의 종평면도	51
그림 4-1 유지관리에 따른 교량의 공용년수의 관계	55
그림 4-2 LCC 평가 분석 방법	56
그림 4-3 점검 및 진단의 외업 기준인원수와 연장의 관계	67
그림 4-4 점검 및 진단의 전체 기준인원수와 연장의 관계	67
그림 4-5 교량의 공용년한동안의 보수와 교체	69
그림 4-6 분석기간동안의 연간분포	77
그림 4-7 실질할인율에 따른 LCC 변화 예측	79
그림 4-8 바닥판 수명과 할인율에 따른 LCC	81

Economical Assessment Based on Life Cycle Cost and Construction Cost Estimation of Phase Steel Girder Bridge in Design

by
Park, Hye-Yeon

Department of Civil and Environmental Engineering
Graduate School of Korea Maritime University

ABSTRACT

Recently, government make a law about efficiency of a basic design and a execution drawing step of construction in more than ten billions won. Because It is that estimate budgets efficiently, reduce side effects of incomplete construction and raise the efficiency of the public construction in improvement remains. So, It makes a demand of LCC that consider about initial construction cost to scrapped material cost. In case of Korea, so many projects about LCC have been carried out only PSC bridge, RC bridge, ST box bridge that have construction accomplishment. But there is a study of phase steel plate bridge.

All expected costs under construction should be calculated for computation of rational construction cost during analyzing the economical efficiency of public construction. It's very important to ensure or execute efficiently budgets with simple information about bridge under design step.

In this paper, Representative item and representative section was calculated with analysis of importance and quantity in accordance with item and designed section about phase steel plate girder bridge. Be based on this result, analysis of economic efficiency is performed through LCC.

Results of study, Average error rate of inspected cost is very exact by $-5\sim 4\%$ from precast deck and $-7\sim 10\%$ from field concrete deck when it is compared with AACE. And 3 girder is economic when discount rate is under 2% and 2 girder is economic when discount rate is over 2% in results of sensitivity analysis.

설계단계에서의 소수거더교 공사비 추정 및 LCC에 기초한 경제성 평가

박 혜 연

한국해양대학교 대학원
토목환경공학과

요 약

최근 정부는 효율적인 예산관리와 부실시공의 부작용을 줄이고 사후관리를 강화하여 공공건설사업의 효율성을 제고하기 위하여 공사비 100억원이상인 건설공사의 기본설계 및 실시설계 내용에 대하여 경제성을 검토하도록 법령을 제정하여 시행함에 따라 대상이 되는 건설사업의 초기건설비용에서부터 유지관리와 폐기처분까지의 비용을 고려하는 LCC분석을 통한 최적대안의 선정이 요구되어지고 있다.

현재 교량공사의 경우 LCC연구는 국내 건설 실적이 많은 PSC교량, RC교량, ST Box교량 등을 위주의 연구가 활발히 진행되고 있으나, 최근 합리화 교량구조를 갖는 소수거더교의 LCC 연구는 다른교량에 비해 미비한 실정이다. 이러한 공공건설공사의 경제성 분석과정에서 합리적인 공사비를 산정하는 것은 시공중에 예상되는 모든 비용을 산출해야 하므로 대상 구조물의 기본 정보만으로도 공사비를 추정하는 것은 국가 예산의 효율적 확보 및 집행 등에 있어 매우 중요한 요소이다.

따라서 본 연구에서는 소수거더교를 대상으로 공사비의 공종별 비중과 수량분석을 통한 실적공사비를 소수거더교 공사에 해당하는 대표공종을 산출하여 검증하였고, 2거더, 3거더 및 4거더의 대표 단면을 선정하여 대표공종을 적용한 공사비를 산정하였으며, 이 결과를 토대로 교량의 초기비용과 유지관리비용 해체·폐기비용을 산출하여 교량의 생애주기비용(LCC)를 통한 경제성 분석을 수행하였다.

연구결과, 추정한 공사비와 실제공사비의 검증을 실시한 결과 현장타설 바닥판 교량의 경우 평균 오차율이 약 -5%~4%이며, 프리캐스트 바닥판 교량의 경우 오차율이 약 -7%~10%로 미국비용공학회(AACE)의 기준과 비교 했을 때 제안된 대표공종에 의한 공사비 산출은 매우 정확한 것으로 나타났다.

또한 실질할인율에 대한 민감도 분석의 결과 할인율이 약 2%이하일때는 3거더교가, 약 2%이상일때는 2거더교가 경제적인 것으로 나타났다.

1장. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

대규모 사회간접자본시설의 건설은 국가예산의 상당부분을 차지함으로써 국가경제에 상당한 과급효과를 주게된다. 이로 인해 대형국책사업은 사회·경제적, 환경적으로 논란의 쟁점이 되기도 한다.

올림픽대교(1989.4), 팔당대교(1991.3), 신행주대교(1992.7), 창선대교(1992.7), 성수대교(1994.10)등의 사고 이후 부설시공의 문제와 더불어 교량의 유지관리에 대한 중요성이 인식되면서 시설물 안전 및 유지관리체계를 본격적으로 구축하기 시작하였다.

2000년부터 정부는 효율적인 예산관리와 부설시공의 부작용을 줄이고 사후관리를 강화하여 공공건설사업의 효율성을 제고하기 위해서 공사비 500억원 이상인 건설공사의 기본설계 및 실시설계 내용에 대하여 경제성을 검토하도록 법령(건설기술관리법 시행령 제38조의13, 2000.3.28)을 제정하였으며, 2005년에는 경제성 검토 제도를 100억원 이상으로 확대 적용(건설기술관리법 시행령 제38조의13, 개정2005.6.30)하도록 개정하였다.

이러한 법이 시행됨에 따라 대상이 되는 건설사업의 초기건설비용에서부터 유지관리와 폐기처분까지의 비용을 고려하는 LCC(Life-Cycle Cost, 생애주기비용)분석을 통한 최적대안의 선정이 요구되어지고 있다.

미국, 유럽 등 선진국에서는 오래전부터 건설 구조물 등에서 LCC에 대한 정보화와 이로부터 합리적인 의사결정을 하기위해 노력하였다. 그러나 우리나라의 경우 1980년대 초부터 LCC 개념을 도입하기 위한 여러 연구가 시행되어 왔으나, 실제 건설공사에는 다른 선진국에 비하여 효과적으로 적용되지 못하였다. 현재 교량공사의 경우 LCC 연구는 국내 건설실적이 많은 PSC교량, RC교량, ST Box교량 등을 위주의 연구가 활발히 진행되고 있으나, 최근 합리화 교량구조를 갖는 소수거더교의 LCC 연구는 다른 교량에 비해 미비한 실정이다.

또한 이러한 건설공사의 경제성 분석과정에서 합리적인 공사비를 산정하는 것은 시공중에 예상되는 모든 비용을 산출해야 하므로 국가 예산의 효율적 확보 및 집행 등에 있어 매우 중요한 요소이다. 국내의 경우 공사비 산정 시 공사 구성요소에 대한 예정가격은 표준품셈에 기초하는 원가계산 방식이 주류를 이루고 있으며, 원가계산방식에 의한 공사비 산정은 설계도가 완성된 후, 대상공사에 대한 수량 산출을 실시하고 이에 대한 단가 산출을 하여 계산되어 지기 때문에 많은 시간과 비용을 필요로 하게 된다. 한편 대상 구조물의 단순정보만을 가지고 대상공사에 대한 예정가격을 정확하게 추정하는 것은 현 단계에서 어려운 문제 중 하나이다. 그러나 건설공사의 예산확보와 집행

측면에서 대상구조물의 단순 정보만으로도 예정가격을 추정할 수 있다면 예산을 효율적으로 운영할 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 공사비 추정에 관련된 연구로는 강교량 제작과 관련된 표준품셈의 제·개정을 위한 연구와 강교량 공사비 자료 분석 및 공종별 비중과 수량분석을 통하여 건설공사 기획단계의 개략공사비를 추정하는 연구가 수행되었으며, 설계단계에서의 추정공사비는 ST Box교량, PSCB교량, 라멘교량에 대한 연구가 진행중에 있다.

따라서 본 논문에서는 교량을 단순화·생략화하여 거더개수를 최소화한 소수거더교를 대상으로 실적공사비 자료를 활용하여 공사비의 공종별 비중과 수량분석을 통하여 소수거더교 공사에 해당하는 대표공종 선정하였으며, 소수거더교의 대표단면에 대하여 대표공종을 적용한 공사비를 산출하였다.

또한 소수거더교의 초기공사비 산정결과 2거더교 공사비가 가장 작은 비용을 나타내었으나, 소수거더교의 2거더, 3거더 및 4거더는 교량의 시설물 교체시 하중경로여유도로 인하여 사용자비용의 차이가 발생하여, 이로 인한 LCC 비용은 초기공사비와는 다른 분포를 나타낼것으로 판단되므로, 거더개수에 따른 LCC 평가를 실시하고, 교량의 경제성을 분석하고자 한다.

1.2 기존연구동향

LCC 분석은 1980년대 초에 처음 소개되어 1981년 12월 병참을 지원하기 위한 비용수단 지침서인 「체계분석과 비용」으로부터 국내에 도입되기 시작하였으나, LCC 분석에 대한 연구는 주로 공동주택이나 건축설비 및 기계 등에 대하여 수행되어 졌으며, 공공 시설물인 교량에 대한 LCC 분석연구는 아직 미진한 실정이다. 최근 건설공사의 경제성분석에 대한 법제정과 교량의 재교량 증가에 따른 효율적인 유지관리 중요성이 제고되면서 교량의 LCC 연구수행이 점차 증가하고 있다.

김상범(2001)은 LCC기법을 이용하여 RC Slab 교량에 대한 LCC분석 모델을 제안하고, 이 모델을 바탕으로 교량의 LCC를 예측하고 이를 통한 교량의 비용절감을 위한 손실비용을 예측하여 교량의 경제성을 평가하였다.

최태희(2001)는 국내 고속국도상의 교량 중 대표적 교량구조인 PSC I형교를 대상으로 국내실정에 적합한 교량의 LCC 비용항목을 도출하고, 분석모델을 제시하여 현행유지관리수준 및 필요관리수준과 같은 유지관리수준에 따른 손실비용을 예측하여 교량의 경제성 분석을 하였다.

조효남(2003)등은 강판형교와 강상자형교를 수치해석을 통하여 허용응력변화에 따른 초기비용 최적설계를 수행하여 재래식 설계방법의 LCC와 최적설계 LCC를 비교하여 교량의 비용효과 및 비용절감에 대한 고찰을 하였다.

차장석(2000)은 국내의 강교 중 가장 많이 시공된 ST Box교와 콘크리트교 중 경간상의 거더가 ST.Box교와 가장 비슷한 PC. Box교를 대상으로 상부구조 형식에 따른

LCC를 예측하여 경제성을 비교·분석하였다.

고주상(2005)은 경간길이 50m이상의 PSC Box교, ST box교 및 ST Plate교를 대상으로 LCC 비용항목을 도출하여 분석모델을 제시하고, 교량형식별 LCC를 예측하여 분석한 후, 교량형식별 경제성 평가를 실시하였다.

이상의 연구를 검토한 결과 공공시설물인 교량에 대한 LCC연구는 국내 건설 실적이 많은 교량을 중심으로 연구가 이루어져 왔으며, 최근 거더개수와 2차부재를 최소화한 소수거더교에 대한 연구는 없는 것으로 조사되었다.

1.3 연구내용 및 범위

소수거더교는 주거더에 얇은 판을 사용하고, 2차부재로 가로보, 브레이싱 등을 사용하는 기존의 플레이트거더교와는 달리 주거더에 고강도강재 및 두꺼운 판을 사용하고, 2차부재인 브레이싱의 생략 및 하중전달부재로 가로보를 배치한 구조형식을 가지고 있다. 이러한 소수거더교는 부재수를 최소화 하였기 때문에 교량의 유지관리가 용이하므로 LCC측면에서 유리하다. 그러나 국내의 연구 동향의 경우 건설 실적이 많은 교량을 위주로 연구가 이루어지고 있으며, 소수거더교의 경우는 아직 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 이러한 소수거더교의 LCC를 예측하기 위하여 기존 2거더의 교량의 설계내역서, 수량산출서 및 도면 등을 활용하여 2거더의 공종별 대표공종과 평균단면을 산정하여, 평균단면 단면력에 기초하여 2거더, 3거더 및 4거더의 단면을 제안하였다.

제안된 거더개수에 따른 단면을 대표공종을 이용하여 각 공사비를 산출하여 LCC예측을 위한 직접공사비로 활용하였으며, 초기공사 비용부터 해체·폐기 비용까지 총 LCC를 예측하여 거더개수에 대한 LCC를 비교·분석하였다.

본 논문은 총 5장으로 구성되며, 각 장의 주요내용은 다음과 같다.

제 1장에서는 본 연구의 배경 및 목적, 기존의 연구 동향, 본 연구의 내용 및 범위에 대해 간단히 기술하였다.

제 2장에서는 공공 건설공사에서 공사 단계별 합리적인 공사비를 산정하는 것은 국가 예산의 확보 및 집행 등에 있어 매우 중요한 요소이다. 이에 따라 기존 설계된 2거더의 설계내역서, 수량산출서 등을 활용하여 2거더의 대표공종을 선정하여, 대표공종에 의한 공사비와 실제공사비의 차이를 비교·검토하였다.

제 3장에서는 기존 설계된 대상교량들의 평균단면을 범용구조해석 프로그램을 활용하여 단면력을 산정하고, 이 단면력으로 2거더, 3거더 및 4거더의 대표단면을 제안하였으며, 앞 장의 대표공종을 적용하여 거더개수에 대한 상부공사비를 산출함으로써 LCC

예측 과정에서의 직접공사비 자료를 제시하였다.

제 4장에서는 2거더의 경우 하중경로의 여유도가 없고, 3거더 및 4거더의 경우 하중 경로 여유도가 있기 때문에 LCC 예측시 사용자비용의 차이가 발생할 것으로 판단된다. 따라서 3장에서 산출된 공사비를 기초로 교량의 초기공사비, 유지관리비, 해체·폐기비를 산출하여 총 LCC를 예측하고, 할인율과 바닥판 수명에 대한 민감도 분석을 수행하여 거더개수에 따른 LCC를 분석하였다.

제 5장에서는 본 논문으로부터 도출된 결론을 서술하였다.



2장. 소수거더교의 공사비 분석 및 대표공종 산정

건설사업의 대형화 및 복잡화의 추세에 따라 다양한 건설 사업관리기법이 개발 및 연구되고 있는 가운데 무엇보다도 예산에 대한 관리 방식은 건설사업 초기단계부터 유지 관리에 이르기까지 사업 전단계에 걸쳐 발주자 뿐만 아니라 건설사업 참여자 모두의 관심의 대상이 되고 있다.

그러나 현재 국내의 국도 및 국가지원지방도 실시설계에 대한 공사비 산출에 대하여 특별한 지침 및 기준이 없는 실정이며, 해당 발주청 및 인근지역 유사사업의 공사비 자료 및 실적공사비 자료를 활용하여 추정하고 있다.

최근 건설분야에서는 사업규모의 파악, 경제적 타당성 검토, 원가관리 등 여러 가지 용도에 따라서 건설공사의 공사비를 설계 초기단계에서부터 시공단계에 이르기까지 각 단계별로 정확하고 신속하게 산출하려는 많은 노력이 이루어지고 있다.

건설공사의 공사비 예측의 필요성은 발주자 입장에서는 사업규모와 타당성 검토, 자금계획 등을 위한 것이며, 설계자의 입장에서는 건물의 품질과 성능을 확보하면서 발주자의 주어진 예산 범위 내에서 좋은 안을 만들기 위한 것이다.

특히 공사 초기단계인 기획 및 설계단계에서의 사업규모의 파악이나 경제적 타당성 여부를 결정하는데 필요한 개산건적은 후속단계에 많은 영향을 미치게 되므로 이에 대한 많은 연구가 필요하다.

그러나 국내의 경우, 사업의 초기단계에서 합리적인 사업비 계획 및 관리를 위한 절차와 기준 데이터, 방법 등이 미흡한 실정이며, 사업의 기획부터 완공까지의 체계적이고 일관성 있는 원가관리를 수행하고 있지 못한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 건설공사 초기단계 중 설계단계에서의 공사비를 기본단가법을 적용하여 예측하였으며, 상부공사의 항목 중 중요도와 비중을 고려하여 대표공종을 선정하고 실제공사의 수량과 비교·분석하였다.

2.1 공사비 추정 기법

시공사 입장에서는 입찰가의 결정, 실행 예산의 작성, 공사규모의 파악 등을 위해 신속하고 정확한 공사비 추정은 반드시 필요하다. 이때 공사비를 예측하는 견적모델은 각 공사의 각 단계별 또는 견적 데이터의 사용 주체와 사용방법에 따라서 다양하다.

공사비 추정 기법은 비용지수법, 비용용량법, 계수견적법, 변수견적법, 기본단가법 등으로 분류되며, 각 기법의 특징은 다음과 같다.

(1) 비용지수법(Cost Indexes Method)

비용지수법은 다른 시간과 장소에서의 비용정보를 조정하는데 사용하는 기법으로 기준이 되는 시간과 장소에서의 비용지수 값과 다른 시간과 장소에서의 비용지수 값에 대한 비율에 근거하여 비용정보를 조정하여 과거의 실적데이터를 공사비 추정에 이용하는 기법이다.

(2) 비용용량법(Cost Capacity Method)

비용용량법은 기기의 용량, 규모, 사양의 변화에 따른 비용의 차이 관계를 이용하는 것으로 동일한 종류의 기기 혹은 산업용 시설물이 규모(혹은 용량)만을 달리할 때 그 비용에 대한 견적 수행에 사용된다.

비용용량법은 설비의 견적에 주로 사용되며, 형식이 유사하지만 규모가 다른 설비의 가격을 추정하는데 매우 유용한 기법이다.

(3) 계수견적법(Factor Estimating Method)

계수견적법은 하나의 비용요소가 다른 비용요소에 비해 현저하게 차이가 나는 사업에서 가장 적합한 방법이다. 정제시설, 주물시설 등에 계수견적법이 적용되는데, 화학플랜트의 경우 주요 장비의 생산용량과 관련 시설물의 규모 사이에 밀접한 관계를 이용하여 해당 시설물의 주요 장비비용을 기준으로 관련 공사비를 산출하는 기법이다.

건설공사를 구성하는 각 요소에 대한 비용과 기준요소에 대한 비용의 비율로 기준요소에 대한 비용이 산출되면 다른 요소에 대한 비용은 각 요소의 계수와 기준요소의 비용을 곱하여 공사비가 추정되며, 건설공사의 전체 비용은 모든 요소들에 대한 비용의 합으로 구해진다.

(4) 변수견적법(Parameter Estimating Method)

변수견적법은 기 수행된 공사들의 실적데이터의 구성요소를 변수화하여 코드로 분류시키고 각 요소에 해당하는 공종별 공사비 자료 분석을 통해 얻어진 데이터를 이용하여 수행하고자 하는 공사의 견적에 적용시켜 공사비 추정에 이용하는 기법이다. 공사비 산출시, 변수 항목에 해당하는 수량만을 산출하고 공종별 변수비용은 실적자료를 보유하고 있으면 가능하며, 이는 시공자의 상세견적이 갖는 수백개의 수량산출 항목과 비교가 된다.

(5) 기본단가법(Base Unit Price Method)

기본단가법은 각 건설공사의 기본단위에 대한 비용자료에 근거하여 비용을 산출하는 기법으로 기본단위에 대한 비용은 이전의 유사한 건설공사들의 비용자료를 토대로 도출된 비용공식에 의거하여 산출된다. 이 기본단위에 대한 비용은 시간과 장소에 따라 건설공사의 특성에 대한 계수 또는 지수에 의하여 조정될 수 있고, 비용공식은 제안된 건설공사에 대하여 상대적으로 정확한 기본단가를 얻기 위하여 몇몇의 관련된 속성에

근거하여 통계적인 추론에 의해서 발전될 수 있다. 이 경우 가장 중요한 변수들과 이들의 비용에 미치는 영향을 결정하기 위하여 회귀분석과 같은 통계적이 기법이 될수있다. 기본단가법에는 사용자 단위당 단가방식, 단위면적당 단가방식, 단위체적당 단가방식, 내부면적당 단가방식, 공중단위당 단가방식 등이 있으며, 해당 공사의 특성에 맞는 기법을 선택하여 이용할 수 있다.

본 논문에서는 교량의 바닥판 면적 및 교량연장에 근거하여 상부구조 각 항목이 공사비에 미치는 영향을 결정하기 위해 기본단가법을 이용하여 대표공종의 수량을 산정하였다.

2.2 대상교량의 제원 및 특성

2.2.1 대상교량

최근 강교량 건설의 비용 절감 및 구조상세의 합리화를 목적으로 플레이트거더교에서 구조 합리화를 도모한 2거더교가 제안되고 있다. 본 논문에서는 기 설계된 2거더교를 대상으로 교량 제원을 조사하였다. 현재 국내에 적용된 실적이 적어 기존 설계자료의 수집에 어려움이 있어 많은 자료를 확보하지 못하였다.

대상교량은 바닥판 제작방법에 따라 프리캐스트 바닥판 교량 2개교, 현장타설 바닥판 교량 3개교의 양방향으로 총 10개교를 조사하였으며, 대상교량의 거더는 SM520강재와 SM570강재, 바닥판은 프리스트레스트 콘크리트로 포스트텐션을 도입하였다.

표 2-1 및 표 2-2에 대상교량의 일반제원, 표 2-3 및 표 2-4에 대상교량의 단면제원을 나타내었다. 대상교량 중 구중교는 중앙분리대로 상하행이 분리되어있어 거더의 캔틸레버부의 길이의 차이가 있으나, 그 차이가 매우 작아 거의 대칭형상을 이루고 있다.

표 2-1 소수거더교의 프리캐스트 바닥판 대상교량 제원

(단위:m)

구분	방향	연장	폭원	경간수	경간구성	강종	
						주부재	부부재
구중교	용정	580	10.45	11	42.5+9@55+42.5	SM520B	SM400B
	용진	580	10.45	11	42.5+9@55+42.5	SM520B	SM400B
천성교	거제	110	11.40	2	2@55	SM570	SM490
	부산	60	11.40	1	60	SM570	SM490

표 2-2 소수거더교의 현장타설 바닥판 대상교량 제원

(단위:m)

구분	방향	연장	폭원	경간수	경간구성	강종	
						주부재	부부재
냉천1교	내남	412	10.45	8	43.85+ 2@54+ 2@53.85+ 2@54+ 43.85	SM570	SM490B
	외동	412	10.45	8	43.85+ 2@54+ 2@53.85+ 2@54+ 43.85	SM570	SM490B
흙실교	내남	255	11.57	5	45+ 3@55+ 45	SM570	SM400
	외동	255	11.40	5	45+ 3@55+ 45	SM570	SM400
대계1교	장승포	350	11.00	6	55+ 4@60+ 55	SM520	SM490
	장목	400	11.00	6	55+ 4@60+ 55+ 50	SM520	SM490

표 2-3과 표 2-4에서 구중교와 냉천1교 대계1교는 방향별 거더와 가로보의 제원이 동일하여 한 방향으로 나타내었으며, 단면형상은 그림 2-1과 같다.

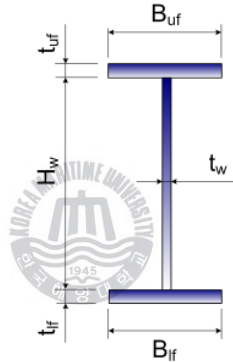


그림 2-1 대상교량의 거더 및 가로보 형상

표 2-3 소수거더교의 프리캐스트 바닥판 교량의 단면제원

(단위:mm)

구분			주거더						가로보					
교량	방향	지점	B _{uf}	B _{if}	t _{uf}	t _{if}	H	t _w	B _{uf}	B _{if}	t _{uf}	t _{if}	H	t _w
구중교	상하	단지점부	700	700	26	28	2,300	20	300	300	14	14	2,000	12
		일반부	700	700	26	26	2,300	20	300	300	12	12	900	12
		중간지점부	700	1,000	30	40	3,200	20	300	300	12	12	1,400	12
천성교	거제	단지점부	700	800	34	34	2,600	24	300	300	14	14	1,088	36
		일반부	700	700	34	34	2,800	24	300	300	12	12	950	16
		중간지점부	700	1,000	46	54	3,500	24	300	300	12	12	950	16
	부산	단지점부	700	1,000	48	50	3,400	34	300	300	14	14	1,083	36
		일반부	700	700	68	70	3,400	34	300	300	12	12	1,250	16
		중간지점부	700	700	48	50	3,400	34	300	300	14	14	1,083	38

표 2-4 소수거더교의 현장타설 바닥판 교량의 단면제원

(단위:mm)

교량	구 분		주거더						가로보					
	방향	지 점	B _{uf}	B _{lf}	t _{uf}	t _{lf}	H	t _w	B _{uf}	B _{lf}	t _{uf}	t _{lf}	H	t _w
냉천교	상하	단지점부	1,000	1,000	36	46	1,950	24	400	400	16	26	1,910	20
		일반부	1,000	1,000	46	58	2,200	24	400	400	20	20	1,040	20
		중간지점부	1,000	1,000	60	62	3,000	28	600	600	40	42	2,960	28
홈실교	내남	단지점부	1,000	1,000	34	38	1,950	20	400	400	20	20	1,950	20
		일반부	1,000	1,000	34	38	2,200	20	400	400	20	20	1,400	20
		중간지점부	1,000	1,000	54	54	3,000	28	600	600	20	20	3,000	24
	외동	단지점부	1,000	1,000	34	38	1,950	20	400	400	20	20	1,950	20
		일반부	1,000	1,000	34	38	2,200	20	400	400	20	20	1,400	20
		중간지점부	1,000	1,000	54	54	3,000	28	630	600	20	20	3,000	24
대계교	상하	단지점부	1,000	1,000	48	48	2,200	28	400	400	20	20	820	20
		일반부	1,000	1,000	48	48	2,200	28	400	400	20	20	820	20
		중간지점부	1,000	1,000	68	68	3,200	32	400	400	20	20	1,060	20

2.2.2 대상교량의 공사비 분석

본 논문에서는 기 설계된 대상교량의 설계내역서와 수량산출서의 각 항목별 수량을 상부공, 하부공, 토공, 부대공으로 분리하여 내역분기를 수행하였다.

표 2-5에 대상교량의 상부공사, 하부공사, 토공공사, 부대공사별 순공사비와 단위길 이당 및 단위 면적당 공사비를 나타내었다. 여기서 공사비 분석은 설계내역서 항목가운데 대상 강교량의 건설공사와 직접관련이 있는 순공사비만으로 단가산출서에 기술되어 있는 설계단계에서의 공사비로, 상부공사비, 하부공사비, 토공공사비 및 부대공공사비를 합한 비용이다. 상부공사비의 항목으로 바닥판, 거더, 강교도장, 동바리/거푸집 등으로 구성되며, 하부공사비는 교대, 교각 및 기초 등으로 구성되고, 토공공사비는 되메우기, 뒷채움, 부대공사비의 주요 항목은 교량 난간 및 중분대, 교면포장, 교량배수시설공 등 교량 부속 시설물로 구성되어 있다.

한편 대상교량 설계내역서의 재료비 및 기타 노무비 등은 대상년도의 물가정보에 기초한 비용이므로, 평가에 있어서는 연도별 물가정보를 고려해야 할 것으로 판단된다.

표 2-5로부터 순 공사비 가운데 각 구성항목의 비율은 상부공사비가 약 72%, 하부공사비가 약 20%, 토공공사비가 2%, 부대공사비가 약 6%로 강교량 건설에 있어 상부공사비의 비율이 가장 큰 것으로 나타났다. 플레이트 거더교의 공사비 평가 항목의 중요한 자로 사용되는 단위길이당 평균 순공사비는 약 1500만원이며, 단위면적당 평균 순공사비는 약 140만원으로 나타내고 있다.

표 2-5 대상교량의 항목별 공사비 비율과 순공사비 비용

(단위:%)

교량명	방향	상부공	하부공	토공	부대공	순 공사비 (백만원)	단위길이당 공사비(천원)	단위면적당 공사비(천원)
구증교	용정	69.4	18.4	6.9	5.4	6,464	11,135	1,066
	용진	69.4	18.4	6.9	5.4	6,464	11,135	1,066
천성교	거제	68.4	20.9	1.2	9.5	1,778	16,160	1,418
	부산	70.8	16.0	0.4	12.8	1,321	22,012	1,931
냉천교	내남	73.4	21.8	1.0	3.8	6,990	16,966	1,624
	외동	73.6	21.6	0.9	3.8	6,936	16,836	1,611
흙실교	내남	73.5	21.0	1.1	4.5	4,221	16,551	1,431
	외동	74.9	19.6	0.9	4.6	4,126	16,180	1,419
대계교	장승포	73.6	21.4	0.9	4.0	5,169	14,768	1,343
	장목	75.5	17.7	3.2	3.6	5,767	14,418	1,311
평균		72.3	19.7	2.3	5.7	4,923	15,616	1,422

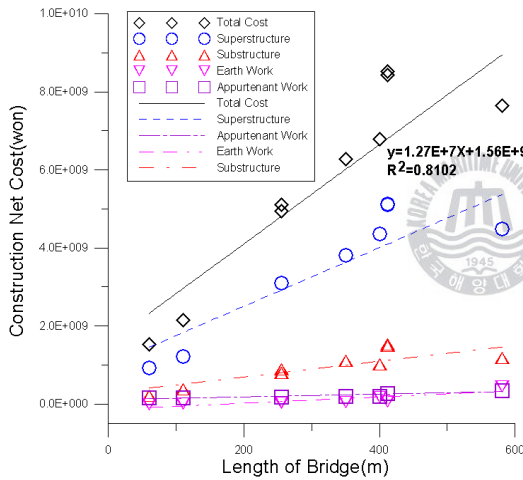


그림 2-2 교량 연장과 공사비의 관계

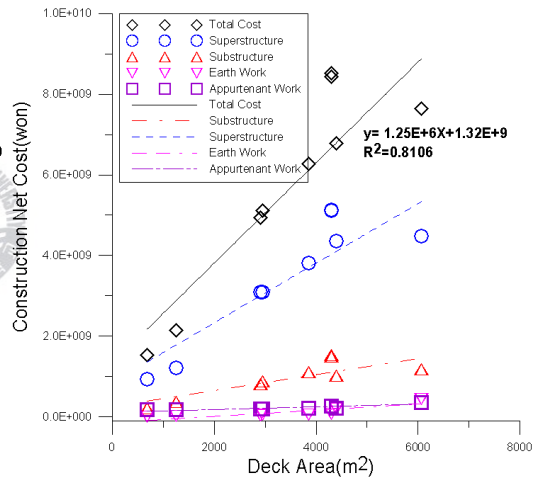


그림 2-3 바닥판 면적과 공사비의 관계

그림 2-2에 교량 연장과 공사비의 관계, 그림 2-3에 바닥판 면적과 공사비의 관계를 나타내었다. 교량연장 및 바닥판 면적이 증가할수록 순공사비는 증가하였으나, 상부공사비가 다른 항목에 비해 교량연장 및 바닥판 면적의 증가에 따른 순공사비 증가율이 크게 나타났다. 그러나 교량연장 및 면적이 증가함에 따라 상부구조의 증가비율은 순공사비 증가에 비하여 감소하였는데, 이것은 바닥판 면적이 증가할수록 상부공사비 이외의 하부공사비, 토공사비, 부대공사비 등의 항목에 대한 공사비 증가비율이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

표 2-6 및 표 2-7에는 교량연장 및 교량면적과 공사비의 관계식을 나타내었다. 이들 선형회귀분석에 의해서 얻어진 결정계수를 보면 교량면적 및 연장에 대한 공사비의 결

정계수는 비교적 높은 것으로 나타났다. 따라서 이들 관계에 의해서 향후 공사비 추정 항목에 바닥판 면적과 교량 연장이 주요한 변수로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 2-6 교량 연장에 대한 공사비의 관계

구분	연장과 공사비의 관계 (X=교량연장)	결정계수(R ²)
총 공사비	$Y = 1.27 \times 10^7 X + 1.56 \times 10^9$	0.8102
상부공	$Y = 7.52 \times 10^6 X + 1.00 \times 10^9$	0.7766
하부공	$Y = 2.02 \times 10^6 X + 2.89 \times 10^8$	0.6748
토공	$Y = 7.99 \times 10^5 X - 1.36 \times 10^8$	0.6777
부대공	$Y = 3.56 \times 10^5 X + 1.14 \times 10^8$	0.8376

표 2-7 바닥판 면적에 대한 공사비의 관계

구분	면적과 공사비의 관계(X=바닥판 면적)	결정계수(R ²)
총 공사비	$Y = 1.25 \times 10^9 X + 1.32 \times 10^9$	0.8106
상부공	$Y = 7.39 \times 10^5 X + 8.51 \times 10^8$	0.7819
하부공	$Y = 1.98 \times 10^5 X + 2.53 \times 10^8$	0.6728
토공	$Y = 7.74 \times 10^8 X - 1.48 \times 10^8$	0.6641
부대공	$Y = 3.41 \times 10^4 X + 1.10 \times 10^8$	0.7986

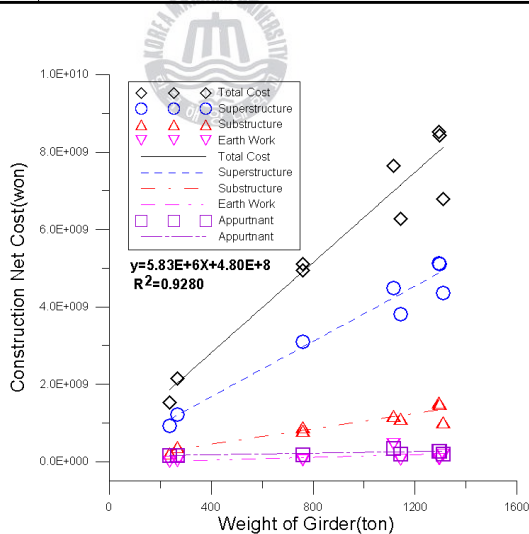


그림 2-4 거더의 중량과 순공사비의 관계

표 2-8 거더 중량에 대한 공사비의 관계

구 분	거더중량과 공사비의 관계	결정계수(R ²)
총 공사비	$Y = 5.83 \times 10^6 X + 4.80 \times 10^8$	0.9280
상부공	$Y = 3.57 \times 10^6 X + 2.49 \times 10^8$	0.9547
하부공	$Y = 9.92 \times 10^5 X + 5.85 \times 10^7$	0.8831
토공	$Y = 1.76 \times 10^5 X - 2.67 \times 10^7$	0.1786
부대공	$Y = 1.02 \times 10^5 X + 1.41 \times 10^8$	0.3735

그림 2-4 및 표 2-8에는 거더중량에 대한 공사비의 관계와 적합도를 나타내었다. 교량연장과 바닥판 면적의 공사비 관계에서와 마찬가지로 거더중량이 증가할수록 상부공사비는 증가하나, 전체공사비의 증가율에 비해 상부공사비 증가율은 감소하고 있는 것으로 나타났다.

표 2-9 강교의 제작, 가설 및 운반 비용 비율

(단위:%)

No	강교제작	강교가설 및 운반	강교 도장	바닥판	PC긴장작업	상부 부대공	상부공사비 (백만원)
1	33.6	18.1	4.8	25.8	16.4	1.3	4,485
2	33.6	18.1	4.8	25.8	16.4	1.3	4,485
3	49.2	9.2	6.1	15.4	19.6	0.6	1,215
4	56.6	10.6	5.1	11.1	15.8	0.7	935
5	64.7	9.6	2.2	15.5	7.2	0.8	5,127
6	65.1	9.7	2.2	15.1	7.2	0.8	5,107
7	62.8	9.5	2.2	17.1	7.6	0.8	3,102
8	63.0	9.5	2.2	16.8	7.6	0.8	3,091
9	57.8	6.9	3.2	19.0	12.7	0.3	3,806
10	57.9	6.9	3.3	18.9	12.7	0.3	4,354
평균	54.4	10.9	3.6	18.1	12.3	0.7	3,571

표 2-9에 상부공사 비용 중 강교의 제작, 가설 및 운반, 도장, 바닥판, PC긴장작업 및 부대공에 대한 공사비용의 비율을 나타내었다. 여기서 제작, 가설 및 운반, 도장, 바닥판, PC긴장작업, 부대비용은 내역서의 공종을 분류하여 나타낸 것이며, 부대비용은 상부공 자재운반비, 표면처리, 무수축콘크리트 등의 공종이 포함되어있다. 표 2-9로부터 강교제작비용은 약 54%, 가설 및 운반비용은 약11%, 도장비용이 약 4%, 바닥판 비용이 약 18%, PC긴장작업 비용이 약12%, 부대비용은 약 1%정도를 차지하는 것으로 나타났다.

그림 2-5 및 그림 2-6에 교량 바닥판 면적 및 교량 연장에 대한 강교제작, 운반 및 가설 비용과의 관계를 나타내었다. 여기서 강교 제작비용은 강재 재료비용을 포함하지

않은 비용이다. 상부공사비용 항목 중 강교제작, 운반 및 가설비용은 교량 연장 및 바닥판 면적이 증가할수록 그 비용이 증가하며, 강교제작 비용이 운반 및 가설비용보다 크게 나타나고 있다.

표 2-10 및 표 2-11에는 교량 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교제작, 운반 및 가설과의 관계를 나타내었다. 상부공사비용 중 운반 및 가설비용은 교량 연장 및 바닥판 면적과의 결정계수가 비교적 높으나, 강교제작비용은 교량연장과 바닥판면적과 결정계수가 낮은 것으로 나타나고 있다. 대상교량의 경우 프리스트레스트 콘크리트 바닥판으로 현장타설과 프리캐스트 바닥판으로 나눌 수 있는데 바닥판 제작방법에 따라 공사비를 분류하면, 강교 제작비용과 교량 연장 및 바닥판 면적과의 결정계수는 높아질 것으로 판단된다.

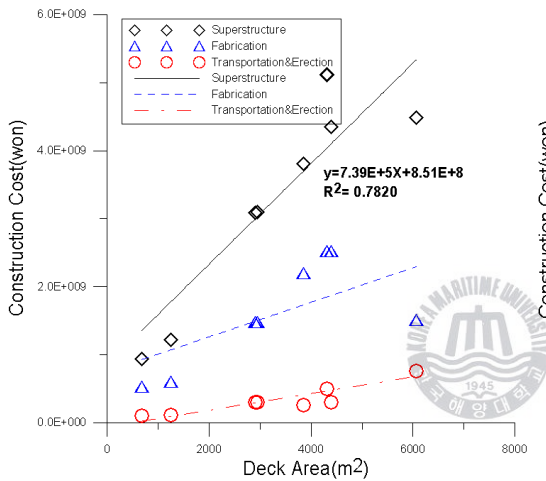


그림 2-5 바닥판 면적과 강교제작, 운반 및 가설과의 관계

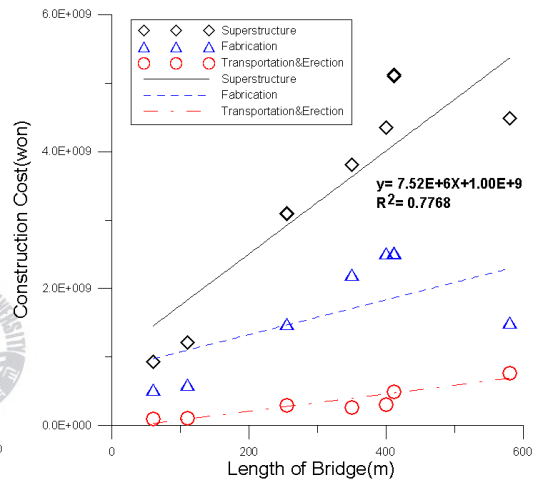


그림 2-6 교량 연장과 강교제작, 운반 및 가설과의 관계

표 2-10 교량 연장과 강교제작, 가설 및 운반비용의 관계

구 분	연장과 공사비의 관계	결정계수(R ²)
상부공사	$Y = 7.52 \times 10^6 X + 1.00 \times 10^9$	0.7766
강교제작	$Y = 2.54 \times 10^6 X + 8.20 \times 10^8$	0.3524
강교 운반 및 가설	$Y = 1.27 \times 10^6 X - 4.52 \times 10^7$	0.8787

표 2-11 바닥판 면적과 강교제작, 가설 및 운반비용의 관계

구 분	면적과 공사비의 관계	결정계수(R ²)
상부공사	$Y = 7.39 \times 10^5 X + 8.51 \times 10^8$	0.7819
강교제작공사	$Y = 2.54 \times 10^5 X + 7.52 \times 10^8$	0.3686
강교운반 및 가설	$Y = 1.22 \times 10^5 X - 6.24 \times 10^7$	0.8527

2.3 대상교량의 상부공 대표공종 선정 및 수량산출

소수거더교의 설계 내역서 및 수량산출서를 기초로 공종별 내역분기를 실시한 후, 상부공사비의 항목 중 공사비 비중 및 중요도가 높은 항목을 중심으로 대표공종을 선정하였다. 대상교량은 바닥판 제작방법에 따라 현장타설 바닥판과 프리캐스트 바닥판으로 분류되기 때문에 대표공종 선정을 2가지의 경우로 하였다. 선정된 대표공종의 단위물량을 산출하기 위하여 선형회귀분석식 및 대상교량의 단위면적당, 단위길이당 수량을 산출하였고, 대상교량의 실제수량과 평균에 의한 수량, 선형회귀식에 의한 수량을 비교 분석하였다.

2.3.1 대상교량의 대표공종 선정

표 2-12와 표 2-13에서와 같이 설계단계에서의 가용 정보 수준 및 소수주거더교 실시설계자료의 공사비 구성비율 분석을 통하여 공사비 비중 및 해당 공종에서의 중요도가 높은 항목을 중심으로 대표공종을 선정하였다.

표 2-12 소수거더교의 프리캐스트 바닥판 상부공사 공종별 공사비 비율

(단위:%)

공종명	구중교		천성교		평균	누적비율
	용정	용진	거제	부산		
1. 강교						
1.1 강교제작	33.6	33.6	49.2	56.6	43.3	43.3
1.2 강교가설(가조립)및 운반	5.0	5.3	-	-	2.5	45.8
1.3 강교가설(영구조립)및 운반	12.0	12.0	9.2	10.6	11.0	56.7
1.4 용접	1.1	1.1	-	-	0.5	57.3
1.5 도장	4.8	4.8	6.1	5.1	5.2	62.5
1.6 내외부 볼트 및 너트	0.1	0.1	-	-	0.05	62.5
1.7 비파괴검사	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	62.8
2. PC긴장작업	16.4	16.4	19.5	15.8	17.0	79.9
3. 자재대	8.6	8.6	4.4	3.2	6.2	86.1
4. 교면방수	2.3	2.3	1.8	1.3	1.9	88.0
5. 철근가공조립	8.5	8.5	1.8	1.3	5.0	93.1
6. 철근인상작업	0.3	0.3	-	-	0.1	93.2
7. 동바리	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	93.5
8. 거푸집	5.1	5.1	6.8	4.7	5.4	98.9
9. 콘크리트타설	0.6	0.6	0.4	0.3	0.5	99.4
10. 표면처리	0.1	0.1	0.05	0.04	0.05	99.4
11. 무수축콘크리트	0.4	0.4	0.08	0.06	0.2	99.7
12. 스페이서설치	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	99.7
13. 자재대	-	-	0.1	0.08	0.04	99.7
14. 자재운반비	0.4	0.4	0.1	0.1	0.3	100
합 계	100	100	100	100	100	-

표 2-12와 같이 프리캐스트 바닥판의 선정된 13개의 대표공종은 강교(강교제작, 가설 및 운반, 도장 비파괴검사), 자재대(레미콘, 철근), 교면방수, 철근가공조립, 동바리, 거푸집, 콘크리트 타설이며, 이들 대표공종이 상부공 전체 공사비의 평균 99.39%, 나머지 공종이 0.61%를 차지하는 것을 알 수 있다. 대상교량의 경우 현장타설과 프리캐스트 콘크리트를 병행하는 합성구조로 되어있으나, 현장타설의 물량이 극히 적으므로 프리캐스트 바닥판의 수량에 포함시켜 대표공종을 선정하였다. 여기서 거푸집은 합판 거푸집과 프리캐스트용 강재거푸집을 포함하여 비율을 산정하였다.

표 2-13 소수거더교의 현장타설 바닥판 상부공사 공종별 공사비 비율

(단위:%)

공종명	냉천1교		흙실교		대계1교		평균	누적비율
	내남	외동	내남	외동	장승포	장목		
1. 강교								
1.1 강교제작	64.7	65.1	62.8	63.0	57.8	57.9	61.9	61.9
1.2 강교가설 및 운반	9.6	9.7	9.5	9.5	6.9	6.9	8.7	70.6
1.3 도장	2.2	2.2	2.2	2.2	3.2	3.3	2.5	73.1
1.4 내외부 볼트 및 너트	-	-	-	-	0.1	0.1	0.02	73.1
1.5 비파괴검사	0.54	0.5	0.5	0.5	-	-	0.4	73.5
2. PC긴장작업	7.2	7.2	7.6	7.6	12.7	12.7	9.2	82.7
3. 자재대	6.4	6.3	7.0	7.01	6.4	6.3	6.6	89.3
4. 교면방수	-	-	-	-	1.2	1.2	0.4	89.7
5. 철근가공조립	3.7	3.6	4.1	4.0	3.7	3.6	3.8	93.5
6. 동바리	3.6	3.4	4.0	4.0	5.1	5.1	4.2	97.7
7. 거푸집	1.4	1.4	1.5	1.5	1.9	1.9	1.6	99.3
8. 콘크리트타설	0.4	0.4	0.4	0.4	0.7	0.7	0.5	99.8
9. 표면처리	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	99.9
10. 무수축콘크리트	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	99.
11. 스페이서설치	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.04	0.02	99.9
12. 자재대	0.03	0.03	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02	99.9
13. 자재운반비	0.09	0.1	0.1	0.1	0.8	0.2	0.1	100
합 계	100	100	100	100	100	100	100	-

표 2-13과 같이 현장타설 바닥판의 선정된 대표공종 13개의 대표공종은 강교(강교제작, 가설 및 운반, 도장, 비파괴검사), 자재대(레미콘, 철근), 교면방수, 철근가공조립, 동바리, 거푸집, 콘크리트 타설 등이 있으며, 대표공종이 전체공사비의 평균 99.75%, 나머지 공종이 0.25%를 차지하는 것으로 나타났다.

자재대의 철근과 레미콘은 상부공사비 항목 중 비교적 높은 비율을 차지하였으나, 시멘트, 모래 및 자갈은 차지하는 비율이 낮기 때문에 대표공종에 포함되지 않았다.

여기서 (-)는 대상교량의 설계내역서상에 해당 항목의 수량이 없어 공사비 비율산정 시 제외하였다.

2.3.2 단위물량 산출

상부공사 대표공종의 수량을 정리하여 바닥판 제작에 따라 평균에 의한 수량과 선형 회귀식에 의한 수량으로 분류하였다. 미비한 자료로 인해 대상교량의 교량연장과 바닥판 면적에 대한 선형회귀식의 신뢰성은 높지 않으나, 선행 연구된 강박스 교량의 경우 회귀식으로 공사비를 추정하여 검증된 바 있고, 추후에 추가되는 자료는 선형회귀식 분석식을 이용하여 공사비를 추정할 예정이므로 본 논문에서는 향후 연구의 방향을 제시해주고자 한다.

(1) 소수거더교의 프리캐스트 바닥판 단위물량 산출

표 2-14에 교량 연장 및 바닥판 면적과 강교제작 수량과의 관계를 나타내었다. 강교제작 수량은 교량 연장과의 결정계수가 바닥판 면적과의 결정계수보다 크나, 선행연구(선창원, 2008)에서 면적에 대한 단위물량을 산출하여 공사비를 추정·검증된 바 있고, 결정계수 값에 미세한 차이를 나타내므로 프리캐스트 바닥판 교량의 강교제작 단위 물량은 면적에 대하여 산출하기로 하였다.

그림 2-7과 그림 2-8에 교량의 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교제작 수량과의 관계, 표 2-14에 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교제작 수량과의 관계에 대한 결정계수를 나타내었다. 표 2-15에 강교제작에서의 수량을 평균 단위물량으로 산출한 수량과 선형회귀식에 의해 산출된 수량을 비교하여 나타내었으며, 선형회귀식에 의한 추정수량이 평균에 의한 추정수량보다 실제수량과 비슷한 것을 알 수 있다.

표 2-14 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교제작과의 관계

구분	회귀식	결정계수	단위물량(평균)	단위
면적	$Y=0.1685*X+91.4810$	0.9971	0.232	ton/m ²
연장	$Y=1.7350*X+106.8670$	0.9979	2.561	ton/m ²

표 2-15 강교제작에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:ton)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	1115.4	1408.9(1.3)	1113.6(0.9)
	용진방향	1115.4	1408.9(1.3)	1113.6(0.9)
천성교	거제방향	268.2	291.3(1.1)	302.8(1.1)
	부산방향	237.6	158.9(0.7)	206.7(0.9)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

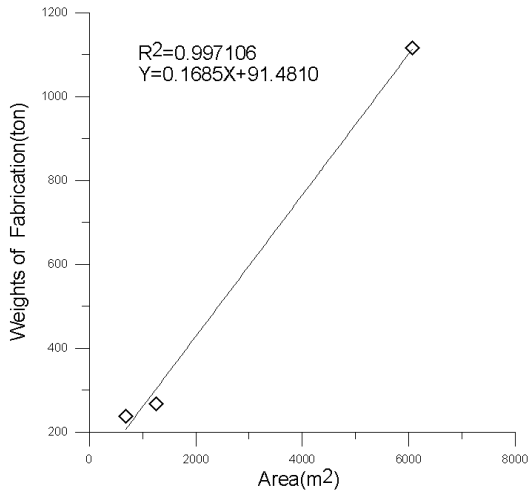


그림 2-7 바닥면적과 강교제작과의 관계

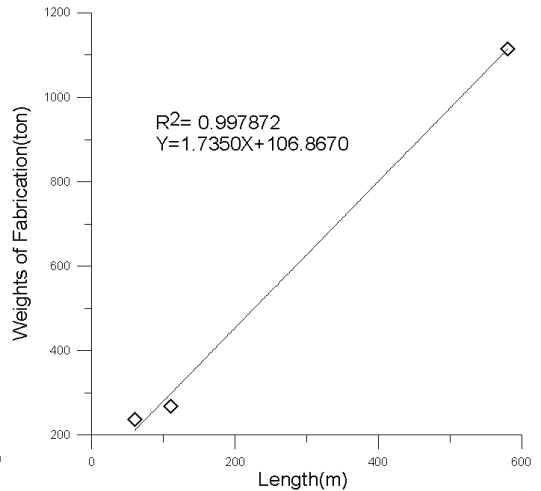


그림 2-8 교량연장과 강교제작과의 관계

표 2-16에는 교량의 경간수와 강교가설의 관계를 나타내었다. 강교가설의 경우 교량 면적, 교량연장 및 경간수와와의 적합도가 모두 높으나, 바닥판은 블록으로 제작되어 가설하므로 경간당 수량을 산출하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 표 2-17과 같이 평균에 의한 추정수량보다 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 근접하므로 강교가설(영구조립)에 대한 단위물량은 경간수에 의한 회귀식으로 산출하였다. 여기서 평균에 의한 추정수량은 평균 단위물량에 바닥판 면적 및 교량연장을 곱하여 산출한 것이고, 회귀식에 의한 추정수량은 회귀식의 미지수 값에 바닥판 면적 및 교량연장의 값을 대입하여 수량산출한 것이다.

표 2-16 교량 경간수와 강교가설(영구조립)의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
경간수	$Y=91.8096 \cdot X + 103.1538$	0.9947	143.637	ton/EA
면적	$Y=0.1710 \cdot X + 75.4740$	0.9940	0.2322	ton/m ²
연장	$Y=1.7611 \cdot X + 90.9813$	0.9951	2.5607	ton/m

표 2-17 강교가설(영구조립)에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:ton)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	1115.4	1580.0(1.4)	1113.1(0.9)
	용진방향	1115.4	1580.0(1.4)	1113.1(0.9)
천성교	거제방향	239.4	287.3(1.2)	286.8(1.2)
	부산방향	237.6	143.6(0.6)	195.0(0.8)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-18 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교도장과의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=4.2959*X-1576.7695$	0.9982	3.365	m^2/m^2
연장	$Y=44.2303*X-1183.1366$	0.9988	36.443	m^2/m

표 2-19 강교도장에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위: m^2)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	24517.9	20412.8(0.8)	24481.8(0.9)
	용진방향	24517.9	20412.8(0.8)	24481.8(0.9)
천성교	거제방향	3128.2	4219.9(1.3)	3810.3(1.2)
	부산방향	1971.4	2301.8(1.2)	1361.6(0.7)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-18에 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교도장의 관계를 나타내었다. 교량 도장의 경우 바닥판 면적과 교량 연장에 대한 적합도가 낮으나, 선행 연구인 「설계단계에서의 강교량 공사비 산정 방법 및 타당성 검증」에서 강박스교량의 대표공종 산정 시 면적에 대하여 강교도장의 공사비를 추정하여 검증된 바 있기 때문에 소수거더교에서도 면적에 관하여 단위물량은 산정하였다.

표 2-19에는 평균에 의한 수량과 회귀식에 의한 수량을 비교하였으며, 전반적으로 회귀식에 의한 수량이 실제수량과 비슷한 것으로 나타내었다.

표 2-20에는 콘크리트 타설량과 바닥판 면적 및 교량 연장에 대하여 나타내었다. 연장에 비해 면적에 대한 결정계수가 크므로 콘크리트 타설량에 대한 단위물량은 면적에 대하여 산출하였으며, 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 근사하므로 회귀식으로 단위물량을 산출하였다.

표 2-21에 평균에 의한 수량과 회귀식에 의한 수량을 실제수량과 비교하여 나타내었다. 회귀식에 의한 수량이 평균에 의한 수량보다 실제수량에 더 가까운 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

표 2-20 바닥판 면적 및 교량 연장과 콘크리트 타설량(철근, VIB포함)의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.31164*X+3.2771$	1	0.310	m^3/m^2
연장	$Y=3.2076*X+ 25.6151$	0.9999	3.381	m^3/m

표 2-21 콘크리트 타설에 대한 실제수량과 추정수량의 비교

(단위:m³)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	1887.1	1878.1(0.9)	1887.1(0.9)
	용진방향	1887.1	1878.1(0.9)	1887.1(0.9)
천성교	거제방향	386.8	388.3(1.0)	387.5(1.0)
	부산방향	210.5	211.8(1.0)	209.9(0.9)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

프리스트레스트 바닥판에서는 전단철근과 배력철근을 비롯하여 긴장재의 조립용 철근, 정착부 및 지압부의 보강철근 등 상당한 양의 철근을 필요로 한다. 철근은 콘크리트 속에 묻혀서 콘크리트를 보강하기 때문에 콘크리트 타설량, 즉 콘크리트 단위 체적에 대하여 회귀식과 평균단위 물량을 산정하였다. 철근과 콘크리트 타설량과의 관계는 표 2-22와 같이 결정계수가 높으며, 회귀식에 의한 추정수량도 실제수량과 근사한 것으로 나타났다.

표 2-23에는 철근량을 평균에 의한 수량과 회귀식에 의한 수량으로 비교하여 나타내었다. 회귀식에 의한 수량이 실제수량과 비슷한 값을 나타내고 있는 것으로 나타났다.

표 2-22 콘크리트 타설량과 철근(연강, 고강)과의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
콘크리트타설량	$Y=0.3388*X-55.1524$	0.9977	0.230	ton/m ³

표 2-23 철근량에 대한 실제수량과 추정수량의 비교

(단위:ton)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	585.2	431.4(0.7)	584.1(0.9)
	용진방향	585.2	431.4(0.7)	584.1(0.9)
천성교	거제방향	62.1	89.2(1.4)	76.1(1.2)
	부산방향	36.5	48.6(1.3)	15.9(0.4)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-24 바닥판 면적 및 교량 연장과 철근가공조립의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.0954*X-53.8575$	0.9974	0.252	ton/m ²
연장	$Y=0.9828*X-45.1336$	0.9981	0.677	ton/m

표 2-25 철근가공조립에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:ton)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	526.1	393.0(0.7)	525.3(0.9)
	용진방향	526.1	393.0(0.7)	525.3(0.9)
천성교	거제방향	47.5	74.5(1.6)	63.0(1.3)
	부산방향	27.8	40.6(1.5)	13.8(0.5)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-24 및 표 2-25에 철근가공에 대한 결정계수 및 실제수량과 추정수량의 비교를 나타내었다. 철근가공조립은 면적에 대한 적합도가 높으며, 회귀식에 대한 추정수량이 평균에 의한 추정수량보다 실제수량과의 차이가 없는 것으로 나타났다.

대상교량의 경우 일부는 프리캐스트로 제작하여 가설하고, 나머지는 현장타설 콘크리트로 하는 합성구조로 된 부재이나, 현장타설 바닥판의 수량이 프리캐스트 바닥판의 수량보다 현저히 작으므로 대상교량을 프리캐스트 바닥판으로 보고 수량을 산출하였다. 그리하여 현장타설시 거푸집을 사용하게 되는데 합판거푸집의 경우 상부공에서 차지하는 비율이 0.48%로 수량은 적으나, 합판거푸집은 바닥판 제작시 바닥판 제작 틀로 사용되기 때문에 상부공사에서 중요한 항목이라고 판단된다. 합판거푸집의 경우 매끈한 마감으로 바닥판 면적 및 교량 연장과 관계가 깊을 것으로 표 2-26에 나타내었으며, 표 2-27과 같이 실제수량과 추정수량의 비교 결과 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 근사한 값을 나타내었다.



표 2-26 바닥판 면적 및 교량 연장과 합판거푸집(매끈한 마감)의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.2106*X+54.0994$	0.9938	0.215	m^2/m^2
연장	$Y=2.1691*X+73.1914$	0.9949	2.352	m^2/m

표 2-27 합판거푸집에 대한 실제수량과 추정수량의비교

(단위:m)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	1335.0	1306.9(0.9)	1332.3(0.9)
	용진방향	1335.0	1306.9(0.9)	1332.3(0.9)
천성교	거제방향	254.8	270.2(1.2)	311.8(1.2)
	부산방향	149.4	147.4(0.9)	203.3(1.4)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

대상교량의 경우 프리캐스트 바닥판 가설시 동바리가 필요하는데 비율은 약 0.32%로 낮으나, 동바리는 거푸집을 고정·지지하기 위한 것이기 때문에 교량바닥판 가설시 중요한 역할을 하므로 대표공종으로 선정하였으며, 동바리와 교량 바닥판 면적 및 연장과

의 관계를 표 2-28에 나타내었다. 표 2-29와 같이 실제수량과 회귀식에 의한 추정수량은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 여기서 철근가공조립 수량은 복잡가공과 보통가공수량의 합으로 산정하였는데 복잡가공은 직경 13mm이하의 철근이 전 철근 중량의 50%이상인 경우를 말한다.

표 2-28 바닥판 면적 및 교량 연장과 동바리(목재동바리4회)의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.1039*X+23.0744$	0.9998	0.112	공/m ³ /m ²
연장	$Y=1.0697*X+32.6753$	0.9999	1.311	공/m ³ /m

표 2-29 동바리에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:공/m³)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	653.7	761.2(1.2)	653.6(0.9)
	용진방향	653.7	761.2(1.2)	653.6(0.9)
천성교	거제방향	148.3	144.3(0.9)	150.3(1.0)
	부산방향	98.7	78.7(0.8)	96.8(1.0)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-30 바닥판 면적 및 교량 연장과 교면방수의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.9343*X-12.6317$	0.9999	0.927	m ² /m ²
연장	$Y=9.6166*X+73.9760$	0.9999	10.121	m ² /m

표 2-31 교면방수에 대한 실제수량과 추정수량의 비교

(단위:m²)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	5655.0	5621.0(0.9)	5654.8(1.0)
	용진방향	5655.0	5621.0(0.9)	5654.8(1.0)
천성교	거제방향	1155.0	1162.0(1.0)	1159.0(1.0)
	부산방향	630.0	633.8(1.0)	626.4(1.0)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-30에 교면방수와 바닥판 면적 및 교량 연장과와의 적합도를 나타내었는데, 2가지 변수에 대해 그 적합도는 비슷하게 나타났다. 강박스 교량의 경우 교면방수는 면적에 대한 대표공종을 산정하여 검증된 바 있으나, 여기서 사용하는 도막식 방수는 방수제를 콘크리트 상판에 칠을 하는 형식이므로 단위면적당 수량이 적합한 것으로 판단된다.

표 2-31에 교면방수의 평균에 의한 수량과 회귀식에 의한 수량을 나타내었으며, 회귀

식에 의한 수량이 실제수량과 거의 같은 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

프리캐스트용 강재거푸집은 표 2-32와 같이 면적과 연장에 대하여 비슷한 결정계수를 갖는 것으로 나타났다. 거푸집은 콘크리트가 형상과 치수를 유지하며 강도에 도달할 때까지 지지하는 가설구조물이므로 바닥판 면적과 더 밀접한 관련이 있을 것으로 판단되어 면적에 관하여 대표공종을 선정하였다. 표 2-33과 같이 실제수량과 추정수량을 비교하면 평균에 의한 추정수량에 비해 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 더 비슷한 것으로 나타났다.

표 2-32 바닥판 면적 및 교량 연장과 프리캐스트용 강재거푸집의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$1.3455 * X + 14.8719$	0.9999	1.353	m^2/m^2
연장	$13.8485 * X + 139.7496$	0.9999	14.784	m^2/m

표 2-33 프리캐스트용 강재거푸집에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위: m^2)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	8175.8	8207.1(1.0)	8176.6(1.0)
	용진방향	8175.8	8207.1(1.0)	8176.6(1.0)
천성교	거제방향	1718.5	1696.6(0.9)	1702.1(0.9)
	부산방향	920.6	925.4(1.0)	935.2(1.0)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

대상교량은 포스트 텐션방식으로 프리스트레스를 도입하였다. 포스트텐션 방식은 철근, 쉬스관 및 거푸집을 조립하고 콘크리트를 타설 경화 한 다음에 쉬스관에 PS강재를 삽입하고 긴장하여 긴장한 PS강재를 정착장치에 정착함으로써 콘크리트 부재에 프리스트레스가 도입되는 방식이다.

대상교량의 PC긴장작업은 상부공사비용에서 약 17%를 차지하고 있으므로 포함하는 항목으로는 강선가공조립, 그라우팅 밀크, 쉬스관조립, Sealing Tape, 긴장정착장치, PC강재긴장작업, 간격재설치, 스테드 설치, 부상방지장치, I-Bolt 설치, Precast Segment 증기양생, Leveling Device, 인양장치부, PC바닥판 가설 및 운반 등으로 나타낼 수 있다.

표 2-34에 바닥판 면적 및 교량 연장과 강선가공조립의 관계를 나타내었다. 강선가공조립은 연장에 대한 적합도보다 면적에 대한 적합도가 더 큰 것으로 나타났으며, 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 비슷한 값을 나타내었다.

표 2-34 바닥판 면적 및 교량 연장과 강선가공조립의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.0036*X+9.4609$	0.8818	0.009	ton/m ²
연장	$Y=0.0367*X+9.8264$	0.8768	0.101	ton/m

표 2-35 강선가공조립에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:ton)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구증교	용정방향	30.9	53.5(1.7)	31.1(1.0)
	용진방향	30.9	53.5(1.7)	31.1(1.0)
천성교	거제방향	18.9	11.1(0.6)	13.9(0.7)
	부산방향	7.5	6.0(0.8)	11.9(1.6)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-36 바닥판 면적 및 교량연장과 그라우팅 밀크의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.0013*X+1.8896$	0.9522	0.002	m ³ /m ²
연장	$Y=0.0131*X+2.0157$	0.9489	0.027	m ³ /m

표 2-37 그라우팅 밀크에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:m³)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구증교	용정방향	9.6	14.3(1.5)	9.6(1.0)
	용진방향	9.6	14.3(1.5)	9.6(1.0)
천성교	거제방향	4.6	3.0(0.6)	3.5(0.8)
	부산방향	1.8	1.6(0.9)	2.8(1.5)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

긴장재는 콘크리트와 함께 프리스트레스 콘크리트의 중요한 재료이다. 포스트 텐션 방식에서는 긴장재의 녹스는 것을 방지하고, 또 콘크리트에 부착시키기 위하여 쉬스안에 그라우트를 주입하는 것이 보통이다. 표 2-36에 교량면적 및 연장과 그라우팅 밀크의 관계를 나타내었으며, 그라우팅 밀크와 면적의 적합도가 연장의 적합도보다 큰 것으로 나타났다. 실제수량과 추정수량의 비교에서도 평균에 의한 추정수량보다 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 비슷한 값을 나타내는 것을 표 2-37과 같이 나타내었다.

프리스트레싱 공법은 긴장재에 인장응력을 주기위하여 긴장재를 긴장하는 작업과 이 긴장력을 콘크리트에 전달하기 위하여 긴장재를 정착하는 작업으로 나눌 수 있다.

표 2-38에 PS장재 긴장작업과 교량 연장 및 바닥판 면적과의 관계를 나타내었다. 여

기에서 PS강재 긴장작업의 수량은 PS강재의 개수를 의미하며, 바닥판 면적과 교량 연장에 대한 결정계수를 비교하면 연장에 대한 결정계수가 더 높으며, 표 2-39와 같이 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 비슷한 값을 나타내고 있다. 평균 추정수량의 경우 평균 단위 물량 산정시 각 교량의 수량의 값 차이가 많이 나기 때문에 평균 단위 물량이 너무 크게 산출되어 평균 추정수량이 실제수량과 차이가 많이 나는 것으로 판단된다.

표 2-38 바닥판 면적 및 교량 연장과 PS강재긴장작업의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y = -0.0280 * X + 362.9032$	0.4522	0.191	EA/m ²
연장	$Y = -0.2904 * X + 361.1187$	0.4598	2.168	EA/m

표 2-39 PS강재긴장작업에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:EA)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	187.0	1258.6(6.7)	192.6(1.0)
	용진방향	187.0	1258.6(6.7)	192.6(1.0)
천성교	거제방향	445.0	238.5(0.5)	329.2(0.7)
	부산방향	239.0	130.1(0.5)	343.7(1.4)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-40 바닥판 면적 및 교량 연장과 긴장정착장치의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y = 0.0043 * X + 353.7050$	0.0203	0.218	EA/m ²
연장	$Y = 0.0237 * X + 354.9016$	0.0182	2.458	EA/m

표 2-41 긴장정착장치에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:EA)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
구중교	용정방향	374.0	1323.4(3.5)	356.3(0.9)
	용진방향	374.0	1323.4(3.5)	356.3(0.9)
천성교	거제방향	474.0	273.6(0.6)	359.2(0.8)
	부산방향	254.0	149.2(0.6)	356.7(1.4)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

포스트텐션 방식에는 긴장재를 긴장한 후 그 끝부분을 콘크리트 부재에 정착시켜야 한다. 그러므로 긴장재를 콘크리트에 정착하는 데 쓰이는 기구가 필요로 하게 된다.

표 2-40에는 바닥판 면적 및 교량 연장과 긴장정착장치의 관계를 나타내었으며, 면적과 연장에 대한 결정계수는 비교적 낮으나, 향후 자료가 추가되면 긴장정착장치에 대

한 적합도는 증가할 것으로 판단된다.

표 2-41에 회귀식에 의한 수량과 평균에 의한 수량을 실제수량과 비교하여 나타내었는데, PS강재 작업과 마찬가지로 평균 단위 물량 산정시 각 교량의 수량의 값 차이가 많이 나기 때문에 평균 단위 물량이 너무 크게 산출되어 평균 추정수량이 실제수량과 차이가 많이 나는 것으로 판단된다.

표 2-42 PC긴장작업의 나머지 공종 비율

(단위:%)

NO	공 종	구중교(%)		천성교(%)		평균
		용정방향	용진방향	거제방향	부산방향	
1	간격재설치	0.001	0.001	0.02	0.01	0.01
2	스터드 설치	-	-	1.6	1.4	1.5
3	Sealing Tape	0.03	0.03	0.1	0.04	0.04
4	부상방지장치	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	I-Bolt설치	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6	Precast Segment 증기양생	33.6	33.6	12.6	20.2	25.05
7	Leveling Device	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
8	인양장치부	0.04	0.04	0.2	0.4	0.2
9	PC바닥판 가설	4.0	4.0	3.5	5.6	4.2
10	PC바닥판 운반	22.6	22.6	7.5	12.0	16.1
	합 계	60.6	60.6	25.7	39.9	47.4

표 2-43 단면제원과 PC긴장작업과의 관계

구분	회귀식	결정계수	단위
면적	$Y = 7.53E + 4 * X - 1.140E + 7$	0.9942	won/m ²
연장	$Y = 7.76E + 5 * X - 4.57E + 6$	0.9953	won/m

PC긴장작업에서 표 2-42와 같이 그 비율이 작거나 Precast Segment 증기양생, 바닥판 가설 및 운반같이 그 비율은 크지만 수량이 1식으로 되어 있는 경우 바닥판 면적과 교량연장에 대한 단위 물량 산출이 어려우므로 표 2-43과 같이 나머지 공종의 전체 공사비를 바닥판 면적 및 교량 연장에 대한 회귀식을 산정하여 공사비를 산출하였다. 바닥판 면적과 교량 연장에 대한 결정계수를 비교한 결과 연장에 대한 적합도가 크고 실제공사비와 연장에 대한 공사비의 차이가 거의 없기 때문에 연장에 대한 회귀식 함수를 이용하여 공사비를 산출하였으며, 표 2-44에 PC 긴장작업 나머지 공종의 면적에 의한 공사비와 연장에 의한 공사비를 실제공사비와 비교하여 나타내었다.

표 2-44 PC긴장작업 나머지 공종의 공사비 비교

(단위:won)

구분		실제공사비	면적에 의한 공사비	연장에 의한 공사비
구증교	용정방향	446,727,469	445,565,872	445,783,931
	용진방향	446,727,469	445,565,872	445,783,931
천성교	거제방향	61,133,184	83,068,660	80,776,503
	부산방향	59,740,961	17,528,688	41,984,717

표 2-45 평균에 의한 추정수량 산출

공 종	단위물량	단위물량단위	수량산출방법
강교가설(가조립)	101.403	ton/EA	101.403 X 경간수
현장접합(용접)	35.318	ton/EA	35.318 X 경간수
강교내외부 볼트 및 너트	0.024	ton/m	0.024 X 교량연장
쉬스관 조립	1.549	m/m ²	1.549 X 교량면적

표 2-46 평균추정수량의 비교

교 량	방 향	공 종	단위	실제수량	평균 추정수량
구증교	용정	강교가설(가조립)	ton	1115.429	1115.429
		현장접합(용접)	m	389.000	388.499
		강교내외부 볼트 및 너트	ton	14.130	14.130
		쉬스관 조립	m	9396.240	9396.240
	용진	강교가설(가조립)	ton	1115.429	1115.429
		현장접합(용접)	m	389.000	388.499
		강교내외부 볼트 및 너트	ton	14.130	14.130
		쉬스관 조립	m	9396.240	9396.240

표 2-47 공사비 비율에 따른 수량 산출

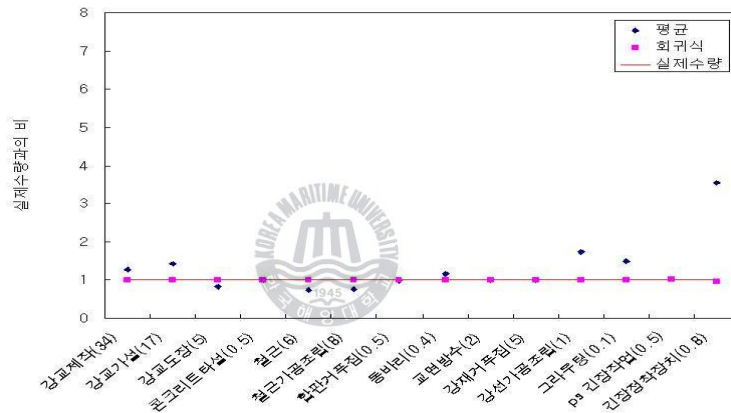
공 종	비율(%)	수량산출방법
비파괴검사	0.722	강교제작 비용 X 0.00722
레미콘 19-400-15	1(할증률)	콘크리트 타설량 X 1.01
레미콘 19-350-15	1(할증률)	콘크리트 타설량 X 1.01

프리캐스트 바닥판 4개의 대상교량 중 내역 항목의 수량이 없는 경우 표 2-45와 같이 경간당, 단위길이당 및 단위면적당 평균 수량으로 단위물량을 산정하여 추정수량을 산출하였다. 표 2-46과 같이 실제수량과 평균에 의한 추정수량은 큰 차이를 보이지 않는 것을 알 수 있다. 천성교의 경우 해당 항목의 수량이 없기 때문에 평균 단위물량을 산정하는 것이 어려우나, 향후 추가된 자료의 추정 수량 산출시의 연구방향을 제시하고자 평균 단위물량으로 추정수량을 산출하였다.

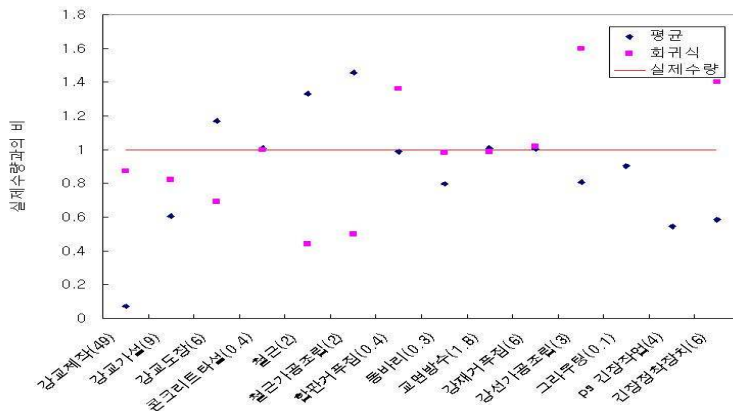
표 2-47에 레미콘 수량산출 방법을 나타내었다. 콘크리트 타설시 콘크리트의 손실이 발생하므로 레미콘 수량을 표준품셈에 따라 1%의 할증을 주어 수량을 산출하였으며, 강교제작시 용접에 대해 비파괴검사를 실시하기 때문에 비파괴검사 비용은 강교제작비용에 대한 비로 공사비를 산출하였다. 또한 대상교량의 항목 중 철근을 들어올리는 철근인상작업은 철근 가공조립과 같은 수량으로 산출하였다. 그림 2-9는 실제수량과 평균에 의한 수량 및 회귀식에 의한 수량의 비교를 나타낸 것이다. 전반적으로 회귀식에 의한 수량이 실제수량과 거의 동일한 값을 보이고 있는 것을 알 수 있다.

그림 2-9는 실제수량과 평균에 의한 수량 및 회귀식에 의한 수량을 항목별로 그래프에 나타내었다. 전반적으로 평균에 의한 추정수량보다 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 비슷한 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

여기서 괄호안의 값은 각 항목이 상부공사비에서 차지하는 비율이다. 비율이 높은 항목의 회귀식에 의한 수량이 실제수량과 비슷한 것을 알 수 있다.

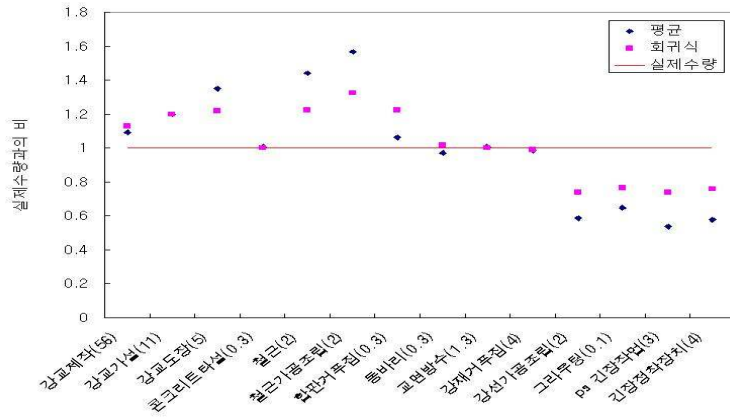


(a) 구중교



(b) 천성교 거제방향

그림 2-9 프리캐스트 바닥판 교량의 실제수량과 추정수량 비교



(c) 천성교 부산방향

그림 2-9 프리캐스트 바닥판 교량의 실제수량과 추정수량 비교

(2) 소수거더교 현장타설 바닥판 교량의 단위물량 산출

현장타설 바닥판 교량은 강교제작, 강교운반 및 가설, 강교도장, 강교 내외부 볼트 및 너트, PS긴장작업, 동바리, 거푸집, 자재대, 철근가공조립, 콘크리트 타설, 교면방수 등을 포함한다.



표 2-48 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교제작의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.3842 \times X - 361.0606$	0.9965	0.286	ton/m ²
연장	$Y=3.5243 \times X - 130.5689$	0.9887	3.130	ton/m

표 2-49 강교제작에 대한 실제수량과 추정수량비교

(단위:ton)

구분	실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	1294.8	1230.3(0.9)
	외동방향	1296.3	1230.3(0.9)
흙실교	내남방향	759.1	843.1(1.1)
	외동방향	759.1	830.7(1.1)
대계1교	장승포방향	1143.0	1100.2(0.9)
	장목방향	1309.0	1257.4(0.9)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

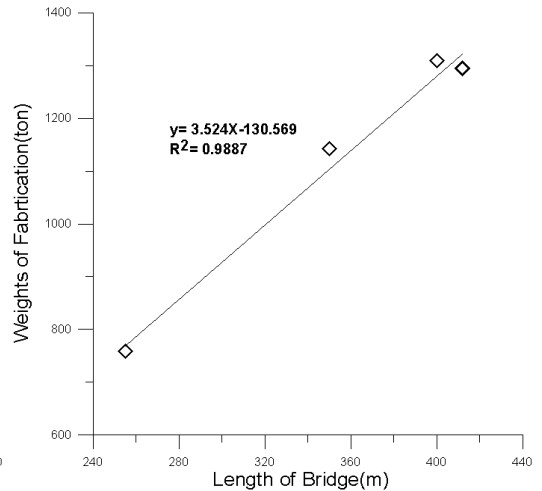
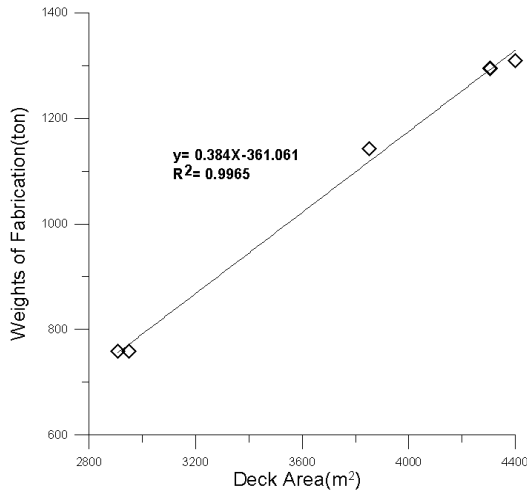


그림 2-10 바닥판 면적과 강교제작의 관계 그림 2-11 교량 연장과 강교제작의 관계

표 2-48에 교량 연장 및 바닥판 면적과 강교제작과의 관계를 나타내었다. 강교제작은 교량 연장에 비해 바닥판 면적과의 적합도가 더 크게 나타났으며, 표 2-49와 같이 회귀식에 의한 추정수량이 평균에 의한 추정수량보다 실제수량과 비슷한 값으로 산출되었으므로 면적에 대한 회귀식을 강교제작의 단위물량으로 산출하였다.

그림 2-10과 그림 2-11에 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교제작의 관계를 나타내었다. 두가지 변수에 대한 강교제작의 회귀식과 결정계수를 나타내었으며, 두 변수에 대한 적합도를 확인할 수 있다.

표 2-50 경간수와 강교가설과의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
경간수	$Y=158.2450 \cdot X + 91.3084$	0.659854	172.695	ton/EA

표 2-51 강교가설에 대한 실제수량과 추정수량 비교

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	1294.8	1382.0(1.1)	1357.3(1.0)
	외동방향	1296.3	1382.0(1.1)	1357.3(1.0)
흙실교	내남방향	759.1	863.5(1.1)	882.5(1.2)
	외동방향	759.1	863.5(1.1)	882.5(1.2)
대계1교	장승포방향	1143.0	1036.2(0.9)	1040.8(0.9)
	장목방향	1309.0	1036.2(0.8)	1040.8(1.0)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-50과 같이 강교가설과 경간수에 대한 적합도는 비교적 낮은 편이나, 바닥판은 프리캐스트 바닥판과 마찬가지로 블록으로 콘크리트를 타설하고 제작하므로 경간당 수량을 산출하는 것이 적합하다고 판단된다. 강교가설에 대한 실제수량과 추정수량을 비교한 결과 회귀식에 의한 수량이 실제수량과 비슷한 수량을 나타내므로 단위물량 산정을 면적에 대한 회귀식으로 산출하였다.

표 2-52에 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교도장의 관계를 나타내었다. 교량 도장의 경우 바닥판 면적과 교량 연장에 대한 적합도가 비교적 낮으나, 선행 연구인 「설계단계에서의 강교량 공사비 산정 방법 및 타당성 검증」에서 강박스교량의 대표공종 산정시 면적에 대하여 강교도장의 공사비를 추정하여 검증된 바 있기 때문에 소수거더교에서도 면적에 관하여 단위물량은 산정하였으며, 표 2-53에 강교도장의 평균에 의한 수량과 회귀식 수량을 실제수량과 비교하여 나타내었으며, 전반적으로 회귀식에 의한 수량이 실제수량과 비슷한 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

표 2-52 바닥판 면적 및 교량 연장과 강교도장의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=4.9855*X-7535.3825$	0.3007	2.905	m^2/m^2
연장	$Y=39.8710*X-2506.9362$	0.2268	31.874	m^2/m

표 2-53 강교도장에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위: m^2)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	9281.9	12506.6(1.3)	13929.3(1.5)
	외동방향	9185.0	12506.6(1.4)	13929.3(1.5)
흙실교	내남방향	5678.2	8570.3(1.5)	7173.7(1.3)
	외동방향	5706.1	8444.4(1.5)	6957.5(1.2)
대계1교	장승포방향	17585.5	11183.7(0.6)	11658.9(0.7)
	장목방향	20612.9	12781.4(0.6)	14400.9(0.7)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-54와 같이 콘크리트 타설과 바닥판 면적의 적합도가 교량 연장과 비교하여 낮으나, 강교도장의 경우와 같이 강박스교량의 연구에서 콘크리트 타설량의 공사비 추정을 면적에 대하여 검증한바가 있어 본 논문 대상교량에서의 콘크리트 타설량은 면적에 대하여 추정하기 하였다. 표 2-55은 콘크리트 타설량에 대한 실제수량과 추정수량을 비교하였다. 여기서 콘크리트 타설량은 면적에 대한 수량을 나타낸 것이다.

표 2-54 바닥판 면적 및 교량 연장과 콘크리트 타설과의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.3895*X-81.5844$	0.9551	0.367	m^3/m^2
연장	$Y=3.6451*X+126.2302$	0.9873	4.026	m^3/m

표 2-55 콘크리트 타설에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:m³)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	1672.2	1123.3(0.7)	1628.0(0.9)
	외동방향	1636.7	1123.3(0.7)	1628.0(0.9)
흙실교	내남방향	1071.9	1392.6(1.3)	1055.7(0.9)
	외동방향	1057.2	1392.6(1.3)	1055.7(0.9)
대계1교	장승포방향	1363.5	1911.3(1.4)	1402.0(1.0)
	장목방향	1552.2	2184.4(1.4)	1584.3(1.0)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

프리캐스트 바닥판과 마찬가지로 표 2-56과 같이 콘크리트 타설량에 대하여 철근량을 산정하였다. 콘크리트 타설량과의 적합도는 높으며, 회귀식에 의한 추정수량이 실제 수량과 근사한 값을 나타내었다. 여기서 철근은 연장과 고강 모두를 포함한 양으로 나타내었다. 철근량의 추정수량을 실제수량과 비교하여 표 2-57과 같이 나타내었으며, 회귀식에 의해 추정된 수량이 실제수량과 비슷한 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

표 2-56 콘크리트 타설량과 철근과의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
콘크리트타설	$Y=0.2567*X+31.0916$	0.9918	0.277	ton/m^3

표 2-57 철근량에 대한 실제수량과 추정수량의 비교

(단위:ton)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	455.2	314.3(0.7)	455.8(1.0)
	외동방향	445.4	314.3(0.7)	455.8(1.0)
흙실교	내남방향	305.3	389.6(1.3)	304.4(0.9)
	외동방향	298.2	389.6(1.3)	304.4(1.0)
대계1교	장승포방향	387.9	534.8(1.4)	381.1(0.9)
	장목방향	438.6	611.2(1.4)	429.5(0.9)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-58에 바닥판 면적 및 교량 연장과 철근가공조립의 관계를 나타내었다. 철근가공조립의 수량은 바닥판 면적에 대한 적합도가 교량 연장에 대한 적합도보다 높으나, 그 차이는 미비하며 선행연구에서 연장에 대하여 공사비를 추정하여 검증된 바 있기 때문

에 본 논문에서도 연장에 대하여 철근가공조립의 공사비를 추정하고자 한다. 여기서 철근가공조립은 복잡가공만 포함되어 있다. 표 2-59에는 실제수량과 추정수량을 비교하였는데 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량에 가까운 값을 나타내었다.

표 2-58 바닥판 면적 및 교량 연장과 철근가공조립의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.0978*X-8.1961$	0.9975	0.095	ton/m ²
연장	$Y=0.8965*X+ 50.7855$	0.9878	1.049	ton/m

표 2-59 철근가공조립에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:ton)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	418.2	432.2(1.0)	420.1(1.0)
	외동방향	409.3	432.2(1.1)	420.1(1.0)
흙실교	내남방향	281.1	267.5(0.9)	279.4(0.9)
	외동방향	274.5	267.5(0.9)	279.4(1.0)
대계1교	장승포방향	370.6	367.2(0.9)	364.5(0.9)
	장목방향	419.2	419.6(1.0)	409.4(0.9)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-60 바닥판 면적 및 교량 연장과 합판거푸집의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.9309*X-213.0203$	0.9841	5.237	m ² /m ²
연장	$Y=8.5960*X+ 326.1985$	0.9891	9.578	m ² /m

표 2-61 합판거푸집에 대한 실제수량과 추정수량 비교

(단위:m)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	3949.3	3945.9(0.9)	3867.7(0.9)
	외동방향	3750.7	3945.9(1.0)	3867.7(1.0)
흙실교	내남방향	2538.8	2442.2(0.9)	2518.2(0.9)
	외동방향	2495.5	2442.2(0.9)	2518.2(1.0)
대계1교	장승포방향	3332.3	3352.1(1.0)	3334.8(1.0)
	장목방향	3804.6	3830.9(1.0)	3764.6(0.9)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

현장타설 콘크리트의 경우 거푸집과 동바리를 필요로 하는데 표 2-60에 바닥판 면적 및 교량 연장과 합판거푸집의 관계를 나타내었다. 합판거푸집의 경우 3회 사용하는 거푸집으로 수량을 산정하였다. 교량 연장에 대한 합판거푸집과의 적합도가 높게 나타났

으며, 표 2-61과 같이 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 조금 더 가까운 값을 나타내었다.

동바리 중 목재동바리는 Deck Finisher용과 4회로 구분할 수 있다. 여기서 4회는 4번 사용가능한 동바리이며, Deck Finisher용은 Deck finisher를 지지하는 동바리를 말한다. 표 2-62에서와 같이 목재동바리 4회와 바닥판 면적 및 교량 연장과의 적합도에 서 연장과 면적에 대한 결정계수 모두 비교적 낮은 값을 나타내고 있으나, 향후 추가된 자료로 대표공중 산정시 그 적합도는 증가할 것으로 판단된다. 표 2-63과 같이 전체적인 추정수량의 경향을 보면, 회귀식에 의한 추정수량이 평균에 의한 추정수량보다 실제수량과 비슷한 값이 많은 것으로 나타났다.

표 2-62 바닥판 면적 및 교량 연장과 동바리의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=2.2799*X-2786.9479$	0.2374	1.456	공/m ³ /m ²
연장	$Y=23.03176*X-2363.1537$	0.3470	15.954	공/m ³ /m

표 2-63 동바리에 대한 실제수량과 추정수량의 비교

(단위:공/m³)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	5007.3	6573.0(1.3)	7125.9(1.4)
	외동방향	4761.6	6573.0(1.4)	7125.9(1.5)
흙실교	내남방향	2926.6	4068.3(1.4)	3509.9(1.2)
	외동방향	2926.6	4068.3(1.4)	3509.9(1.2)
대계1교	장승포방향	8585.3	5583.9(0.7)	5698.0(0.7)
	장목방향	9811.8	6381.6(0.7)	6849.5(0.7)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

Deck finisher용 동바리는 교량상부 콘크리트 슬래브를 마무리하는데 사용하는 건설 장비인 Deck finisher를 지지하는 것이다. 표 2-64과 같이 면적에 대한 결정계수가 크지만, 선행연구에서 검증된 바와 같이 연장에 대하여 대표공중을 산정하였다. 표 2-65에 실제수량과 추정수량을 비교하였으며, 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 비슷한 값을 나타내었다.

표 2-64 바닥판 면적 및 교량 연장과 Deck Finisher의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=0.1471*X+ 1332.9646$	0.9661	0.515	공/m ³ /m ²
연장	$Y=1.2856*X+ 1436.3223$	0.9590	5.846	공/m ³ /m

표 2-65 Deck finisher에 대한 실제수량과 추정수량의 비교

(단위:공/m³)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	1636.7	1694.6(1.0)	1793.7(1.1)
	외동방향	1950.6	1694.6(0.9)	1793.7(0.9)
흙실교	내남방향	1789.8	2100.8(1.2)	1764.4(0.9)
	외동방향	1739.0	2100.8(1.2)	1764.4(1.0)
대계1교	장승포방향	-	-	-
	장목방향	-	-	-

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

(-): 수량이 없는 항목을 표시한 것이다.

그라우팅 밀크와 바닥판 면적 및 교량 연장과의 관계를 표 2-66에 나타내었다. 그라우팅 밀크에 대한 결정계수는 교량 연장에 대하여 더 크게 나타났으나, 그라우트는 쉬스관 안을 완전히 채워 PS강재의 표면을 둘러싸야 하고, 콘크리트와 긴장재가 부착에 의해 일체되게 하여야 하기 때문에 단위 면적당 수량이 더 적합하다고 판단된다. 표 2-67에 그라우팅에 대한 실제수량과 추정수량의 비교에서 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 비슷한 값을 나타내었다.

표 2-66 바닥판 면적 및 교량 연장과 그라우팅 밀크의 관계

구분	회귀식	결정계수	단위물량	단위
면적	$Y=0.0013*X+3.4387$	0.1108	0.002	m ³ /m ²
연장	$Y=0.0154*X+3.0122$	0.1833	0.025	m ³ /m

표 2-67 그라우팅에 대한 실제수량과 추정수량의 비교

(단위:m³)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	11.8	9.6(0.8)	9.0(0.8)
	외동방향	11.5	9.6(0.8)	9.0(0.8)
흙실교	내남방향	7.7	6.6(0.9)	7.3(0.9)
	외동방향	7.6	6.5(0.9)	7.2(0.9)
대계1교	장승포방향	5.4	8.6(1.6)	8.4(1.6)
	장목방향	6.2	9.8(1.6)	9.1(1.5)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-68 바닥판 면적 및 교량 연장과 쉬스관조립의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y=2.1422*X-437.2739$	0.9913	2.023	m/m ²
연장	$Y=19.7739*X+805.6413$	0.9957	22.198	m/m

표 2-69 쉬스관조립에 대한 실제수량과 추정수량의 비교

(단위:m)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	9027.4	9145.5(1.0)	8952.5(0.9)
	외동방향	8788.0	9145.5(1.0)	8952.5(1.0)
흙실교	내남방향	5889.1	5660.4(0.9)	5848.0(0.9)
	외동방향	5802.6	5660.4(0.9)	5848.0(1.0)
대계1교	장승포방향	7717.3	7769.2(1.0)	7726.5(1.0)
	장목방향	8818.2	8879.1(1.0)	8715.2(0.9)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-68과 같이 쉬스관조립의 경우 바닥판 면적에 대한 결정계수보다 교량 연장에 대한 결정계수가 더 큰 것으로 나타났으며, 표 2-69와 같이 실제수량과의 비교에서도 회귀식에 의한 수량이 실제수량과 더 비슷한 값으로 산출되었다.

표 2-70 ~ 표 2-73에 고정정착장치 및 긴장정착장치와 바닥판 면적, 교량 연장과와의 적합도 및 실제수량과 추정수량의 비교를 나타내었다. 고정정착장치 및 긴장정착장치 모두 교량 연장과와의 적합도가 컸으며, 회귀식에 의한 추정수량이 실제수량과 비슷한 값을 나타내었다.

표 2-70 바닥판 면적 및 교량 연장과 고정정착장치의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y = 0.2141 * X - 118.1743$	0.9910	0.182	EA/m ²
연장	$Y = 1.9810 * X + 4.6029$	0.9996	1.995	EA/m

표 2-71 고정정착장치에 대한 실제수량과 추정수량의 비교

(단위:EA)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	818.0	783.4(0.9)	803.8(0.9)
	외동방향	818.0	783.4(0.9)	803.8(0.9)
흙실교	내남방향	509.0	536.8(1.1)	513.6(1.0)
	외동방향	509.0	528.9(1.0)	504.3(1.0)
대계1교	장승포방향	701.0	700.5(1.0)	706.3(1.0)
	장목방향	801.0	800.6(1.0)	824.1(1.0)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

표 2-72 바닥판 면적 및 교량 연장과 긴장정착장치의 관계

구분	회귀식	결정계수	평균 단위물량	단위
면적	$Y = 0.21415 * X - 118.1743$	0.9909	0.182	EA/m ²
연장	$Y = 1.9810 * X + 4.6029$	0.9996	1.995	EA/m

표 2-73 긴장정착장치에 대한 실제수량과 추정수량의 비교

(단위:EA)

구분		실제수량	평균 추정수량	회귀식 추정수량
냉천1교	내남방향	818.0	783.4(0.9)	803.8(0.9)
	외동방향	818.0	783.4(0.9)	803.8(0.9)
흙실교	내남방향	509.0	536.8(1.1)	513.6(1.0)
	외동방향	509.0	528.9(1.0)	504.3(1.0)
대계1교	장승포방향	701.0	700.5(1.0)	706.3(1.0)
	장목방향	801.0	800.6(1.0)	824.1(1.0)

(): 실제수량에 대한 추정수량의 비를 표시한 것이다. (추정수량/실제수량)

현장타설 대상교량 공사비 내역분기시 각 공종의 수량이 없는 경우 있는 표 2-74와 같이 단위길이당 및 단위면적당 수량의 평균값으로 추정수량을 산출하였다. 추정 수량의 산출방법은 단위물량에 교량연장 및 교량면적의 곱으로 추정수량을 산정하였다. 표 2-75와 같이 실제수량과 평균에 의한 추정수량은 큰 차이를 보이지 않으나, 해당 공종에 대한 수량이 없는 교량도 포함되어 있으므로 수량의 평균값으로 단위물량을 산출하기에는 자료가 많이 부족하지만, 향후 추가된 자료의 공사비 검증시 평균값을 활용하여 수량을 산출을 할 것이기 때문에 연구방향을 제시하고자 평균 단위물량으로 추정수량을 산출하였다.

표 2-74 평균에 의한 추정수량산출

공 종	단위물량	단위물량단위	수량산출방법
강교내외부 볼트 및 너트	0.020	ton/m	0.020 X 교량연장
강선가공조립	0.009	ton/m ²	0.009 X 교량면적
PS강제긴장작업	2.003	EA/m ²	2.003 X 교량면적
교면방수	0.918	m ² /m ²	0.918 X 교량면적

표 2-75 평균추정수량의 비교

교 량	방 향	공 종	단위	실제수량	평균 추정수량
대계1교	내남	강교내외부 볼트 및 너트	ton	6.5	7.1
		강선가공조립	ton	35.5	35.5
		PS강제긴장작업	EA	701.0	700.9
		교면방수	m ²	3535.0	3535.0
	외동	강교내외부 볼트 및 너트	ton	7.7	8.1
		강선가공조립	ton	40.6	40.6
		PS강제긴장작업	EA	801.0	801.0
		교면방수	m ²	4040.0	4040.0

표 2-76 공사비 비율에 따른 수량산출

공 종	비율(%)	수량산출방법
레미콘 19-400-15	1	콘크리트 타설량×1.01
비파괴검사	1.106	강교제작비용×0.01106
공기유출구	0.845	PC긴장작업비용×0.00845

해당항목의 수량의 단위가 1식으로 나타내어져 있거나, 단위를 하나로 통일할 수 없을 때 표 2-76과 같이 비용의 비율로 항목의 비용을 산출하였다. 여기서 레미콘의 경우 콘크리트를 타설할 때 손실이 발생하기 때문에 표준품셈에 따라 콘크리트 타설량에 1%의 할증을 실시하였다. 비파괴검사의 경우 강교제작 시 용접의 비파괴검사를 실시하기 때문에 강교제작비용에 대한 비율로 공사비를 산출하였다. 공기 유출구의 경우 PC 긴장작업의 비용에 대한 비율로 공사비를 산출하였다. 또한 대표공종 이외의 공종 즉 자재운반비, 자재비, 무수축 콘크리트, 표면정리 등은 상부공 전체 공사비에 대한 비율로 비용을 산출하였다.

그림 2-12는 현장타설 바닥판 교량의 실제수량과 평균에 의한 수량을 비교하여 나타낸 것이다. 전반적으로 회귀식에 의한 수량이 실제수량과 거의 동일한 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

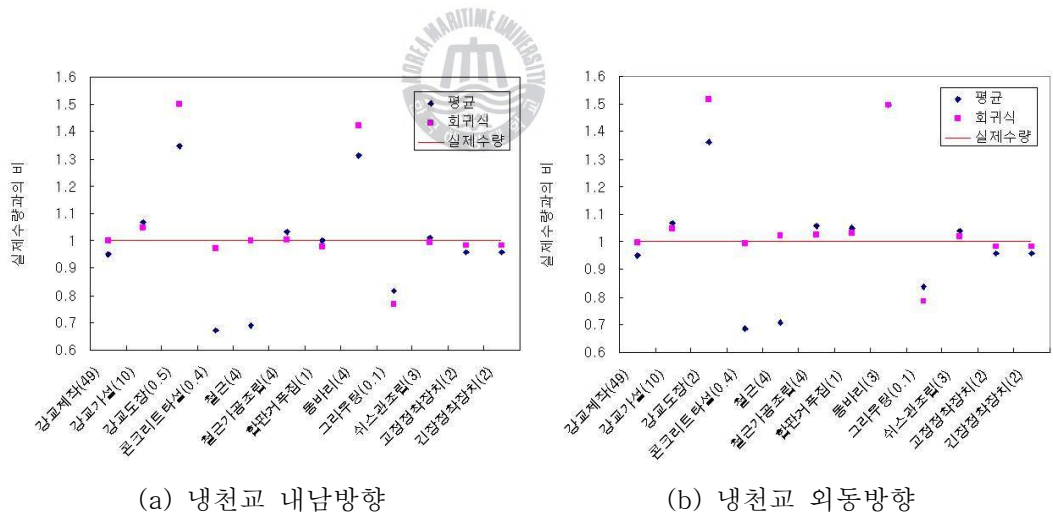
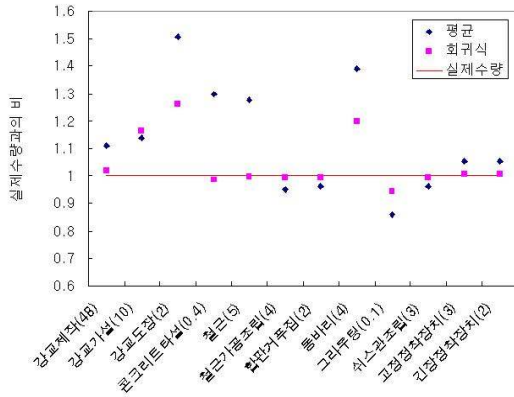
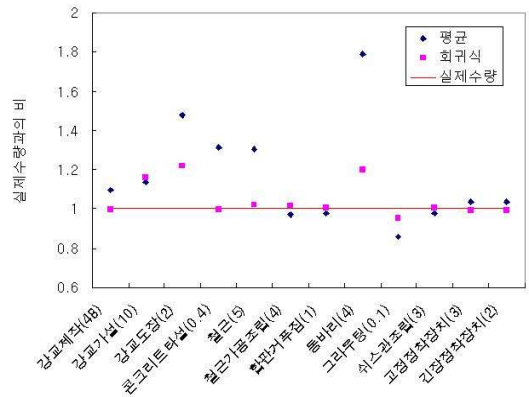


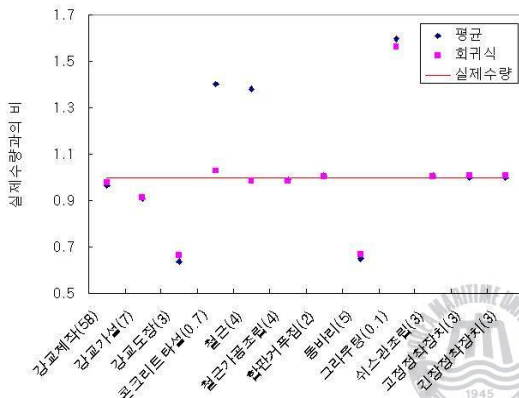
그림 2-12 현장타설 바닥판 교량의 실제수량과 추정수량의 비교(계속)



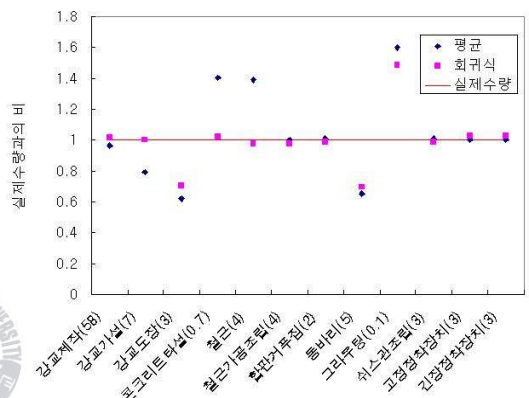
(c) 홈실교 내남방향



(d) 홈실교 외동방향



(e) 대계교 장승포방향



(f) 대계교 장목방향

그림 2-12 현장타설 바닥판 교량의 실제수량과 추정수량의 비교

2.4 추정공사비의 검증

앞 절에서 제안한 단위물량과 회귀식을 활용한 단위물량을 대상교량에 적용하여 소수 거더교 공사비 산정 모델의 타당성을 검증하고자 한다. 실제 상부공 순 공사비와 회귀식 및 평균 단위물량으로 추정된 공사비와의 오차를 검증하기 위하여 대표공종 산정시 사용하였던 대상교량에 대하여 검증작업을 실시하였다.

표 2-77과 표 2-78에는 프리캐스트와 현장타설의 대표공종과 그 외 공종의 비율을 나타내었다. 프리캐스트 바닥판 교량의 대표공종은 약 99.4%, 그 외 공종은 약 0.61%이며, 현장타설 바닥판 교량의 대표공종은 약 99.8%, 그 외 공종은 약 0.25%로 나타났다. 공사비 산출 방법은 각 대표공종에 대한 전체수량을 산정하고, 산정된 수량에 설계단가를 곱하여 각 공종에 대한 공사비를 산출하였으며, 대표공종 이외의 공종에 대해서는 상부공 전체 공사비에 대한 비율을 적용하여 그림 2-13과 그림 2-14와 같이

상부공 공사비를 산정하였다.

표 2-77 프리캐스트 바닥판의 대표공종과 그 외 공종 비율

(단위:%)

구분	구중교		친성교		평균
	용정방향	용진방향	거제방향	부산방향	
대표공종	99.1	99.1	99.6	99.7	99.4
그외공종	0.9	0.9	0.4	0.3	0.6

표 2-78 현장타설 바닥판의 대표공종과 그 외 공종 비율

(단위:%)

구분	냉천1교		흙실교		대계1교		평균
	내남방향	외동방향	내남방향	외동방향	장승포방향	장목방향	
대표공종	99.8	99.8	99.8	99.8	99.7	99.7	99.8
그외공종	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2

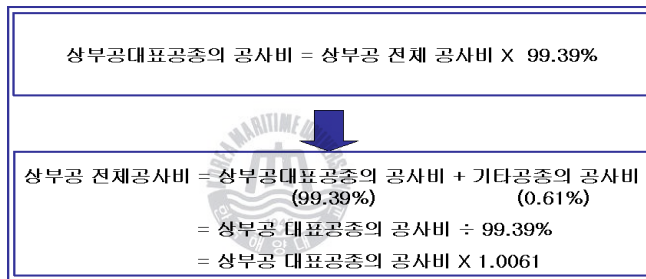


그림 2-13 프리캐스트 상부공 전체 공사비 산출방법

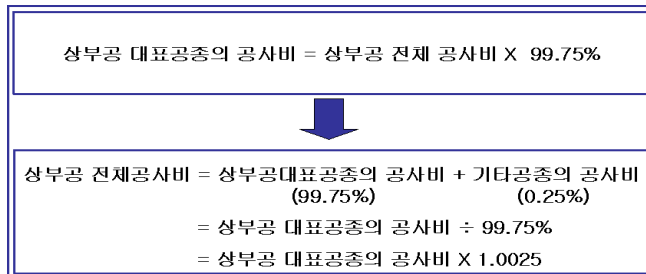


그림 2-14 현장타설 상부공 전체 공사비 산출방법

표 2-79에 각 대상교량의 준공년도의 공사비 지수와 현재(2009년2월)의 공사비지수를 나타내었으며, 각 교량의 준공년도부터 현재까지의 물가변동을 고려하기 위하여 각 공종의 단가에 현재 공사비 지수와 교량의 준공년도 공사비지수의 비를 곱하여 공사비 추정시의 단가를 산정하였다. 여기서 공사비지수는 건설공사에 투입되는 직접공사비를

대상으로 특정시점(생산자 물가지수 2000년)의 물가를 100으로 하여 재료, 노무, 장비 등 세부 투입자원에 대한 물가변동을 추정하기 위해 작성된 가공통계 자료이다.

표 2-79 공사비지수

구분	준공년도	공사비지수
구중교	2006.6	131.0
천성교	2006.12	130.7
냉천1교	2006.9	131.1
흙실교	2005.8	128.2
대계1교	2003.10	119.1
현재	2009.2	133.1

표 2-80 프리캐스트 상부공사비 오차율

(단위:%)

구분	구중교		천성교	
	용정방향	용진방향	거제방향	부산방향
평균	26.0	26.0	1.2	-27.8
회귀식	2.0	2.0	9.7	-6.8

표 2-81 현장타설 상부공사비 오차율

(단위:%)

구분	냉천1교		흙실교		대계1교	
	내남방향	외동방향	내남방향	외동방향	장승포방향	장목방향
평균	0.02	0.3	9.5	8.8	-5.6	-6.5
회귀식	2.9	3.2	3.9	2.9	-4.5	-2.9

표 2-80과 표 2-81에 프리캐스트 바닥판 교량 및 현장타설 바닥판 교량 상부공사비의 평균에 의한 추정공사비와 회귀식에 의한 추정공사비를 실제공사비와의 오차율을 나타내었다. 프리캐스트 바닥판 교량의 경우 평균에 의한 추정공사비의 오차율은 -27.75% ~ 25.95%이며, 회귀식에 의한 추정공사비의 오차율은 -6.75% ~ 9.69%로 회귀식에 의한 추정 공사비가 평균에 의한 추정공사비보다 오차율이 낮은 것으로 나타났다. 그림 2-13과 그림 2-14에 추정공사비와 실제공사비의 오차를 나타내었다. 실제공사비를 0으로 가정하여 추정공사비의 오차율을 나타낸 결과 회귀식에 의한 공사비 대부분이 평균에 의한 공사비보다 오차율이 작은 것으로 나타났다. 현장타설 바닥판 교량의 경우 평균에 의한 추정 공사비의 오차율이 0.017% ~ 9.522%이며, 회귀식에 의한 추정 상부공사비 오차율은 -4.54% ~ 3.94%로 나타났다.

해외의 선진적인 공사비 예측에 부합될 수 있도록 AACE (Association for the Advancement of Cost Engineering)인 미국비용공학회의 기준인 하한값 -15% ~ -30%, 상한값 +20% ~ +50%와 비교할 때 본 논문에서 제안한 추정공사비 모델은

매우 정확도가 높은 것을 알 수 있다.

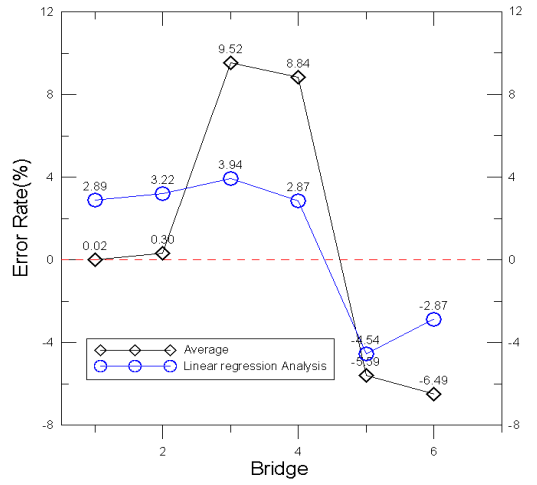
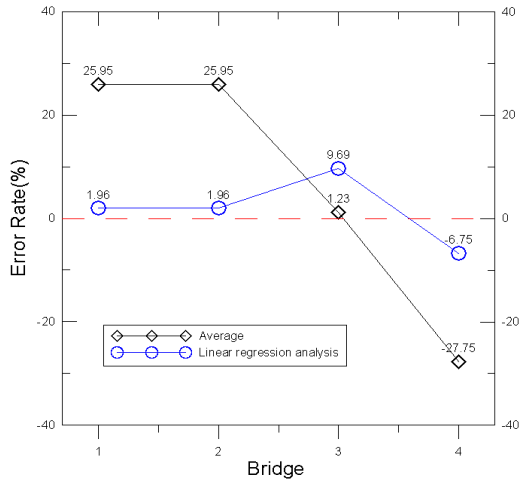


그림 2-15 프리캐스트 상부공사비 오차율(%)

그림 2-16 현장타설 상부공사비 오차율(%)



3장. 소수거더교 단면추정 및 공사비 산정

기존 설계된 플레이트거더교의 설계도서(한국도로공사, 2000; 경기도, 2004)를 조사한 결과 현행의 강교량 설계는 기본단면을 가정한 후, 이 단면에 대한 설계응력이 허용응력의 약 80~90%정도를 목표로 단면을 선정하고 있다. 그러나 현행설계는 이러한 설계방법에 의해 얻어진 단면에 대해 설계응력만을 검증 할 뿐 각 설계단면이 유사한 응력의 여유를 갖고 있는가에 대한 검토는 거의 이루어지고 있지 않아 과다설계의 가능성이 높은 것으로 판단된다. 이러한 과다 단면이 적용된 강교량 설계의 경우 강재량 증가가 전체 강교량 공사비를 증가시키는 하나의 요인이 될 것이다.

2005년 기준(교량현황조사, 2005)으로 국내의 22,871개의 도로교에서의 강교량 비율은 13%(2973개)이며, 2008년 기준(교량현황조사, 2008)으로 국내의 25,478개의 도로교에서의 강교량 비율은 약 14%(3664개)로 점유율이 증가하고 있다. 그러나 강교량이 콘크리트 교량에 비해 많은 장점을 가지고 있는 것을 고려한다면 이와 같은 점유율은 외국에 비해 아직 낮은 수준이다. 강교량 중 소수거더교는 그 비율이 극히 미비하지만, 매년 증가하고 있는 소수거더교 중 2거더의 연구만이 활발히 진행되고 있어 3거더 및 4거더에 대한 연구자료는 전무한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 대상교량의 허용응력 범위를 산정한 후, 평균 단면제원으로 2거더의 단면력을 범용 구조해석 프로그램을 활용하여 산정하였으며, 이 단면력을 기초로하여 2거더, 3거더 및 4거더의 표준단면을 제안하였다. 여기서 대상교량의 평균 설계응력 범위에 포함되는 단면을 산정하기 위해 여러 번의 구조해석을 실시하였다. 앞 장에서의 대표공종 및 공종별 공사비 비율을 적용하여 각 거더별 상부공사비 및 전체 공사비를 산정하여 LCC분석에 항목 중 직접공사비의 자료를 제시하고자 하였다.

3.1 대상교량

대상교량은 총 5개교이며, 5개 교량중 천성교의 부산방향은 단경간 교량이며, 이 교량을 제외한 나머지 교량은 변단면 교량이다. 구중교의 경우 4거더교로 2거더의 거동과 다르기 때문에 단면력을 산출하여 응력을 검토할 때 제외시켰다. 대상교량의 일반제원을 표 3-1에 나타내었다. 대상교량의 교량 등급은 1등급 교량이며, 구중교를 제외한 다른교량들은 상하행 분리교이다. 대상교량의 평균단면 산출과 2거더, 3거더 및 4거더의 표준단면 추정시 바닥판 제작방법은 고려되지 않았다. 5개 교량의 평균단면 산출을 위하여 대상교량의 단면제원을 표 3-2와 같이 나타내었다. 여기서 대상교량의 단면제원은 일반부 단면제원이며, 사용강재는 SM570, SM520로서 허용응력은 260MPa, 210MPa이고 바닥판은 콘크리트설계기준강도 35MPa 및 40MPa를 적용하였다.

표 3-1 대상교량 일반제원

(단위:m)

구분	방향	경간구성 (m)	폭 (m)	설계 기준강도 (MPa)	강종	
					주부재	부부재
구중교	용정	42.5+9@55+42.5	10.45	35	SM520B	SM400B
	용진	42.5+9@55+42.5	10.45	35	SM520B	SM400B
천성교	거제	2@55	11.40	35	SM570	SM490
	부산	60	11.40	35	SM570	SM490
냉천1교	내남	43.85+2@54+2@53.85+2@54+43.85	10.45	40	SM570	SM490B
	외동	43.85+2@54+2@53.85+2@54+43.85	10.45	40	SM570	SM490B
흙실교	내남	45+3@55+45	11.57	40	SM570	SM400
	외동	45+3@55+45	11.40	40	SM570	SM400
대계1교	장승포	55+4@60+55	11.00	40	SM520	SM490
	장목	55+4@60+55+50	11.00	40	SM520	SM490

표 3-2 대상교량의 단면제원(계속)

(단위 : mm)

교량	방향	구분	위치	폭	두께	높이	재질	허용응력(MPa)
구중교	용정	거더	상부플랜지	700	26	-	SM520B	210
			하부플랜지	700	26	-		
			복부	-	20	2300		
		가로보	상부플랜지	300	14	-	SM400B	140
			하부플랜지	300	14	-		
			복부	-	12	900		
	바닥판			-	280	-	35MPa	
	용진	거더	상부플랜지	700	26	-	SM520B	210
			하부플랜지	700	26	-		
			복부	-	20	2300		
		가로보	상부플랜지	300	14	-	SM400B	140
			하부플랜지	300	14	-		
복부			-	12	900			
바닥판			-	280	-	35MPa		
천성교	거제	거더	상부플랜지	700	34	-	SM570	260
			하부플랜지	700	34	-		
			복부	-	24	2800		
		가로보	상부플랜지	300	12	-	SM490	190
			하부플랜지	300	12	-		
			복부	-	16	950		
바닥판			-	280	-	35MPa		
천성교	부산	거더	상부플랜지	700	48	-	SM570	250
			하부플랜지	700	50	-		
			복부	-	34	3400		
		가로보	상부플랜지	300	14	-	SM490	175
			하부플랜지	300	14	-		
			복부	-	18	1250		
바닥판			-	280	-	35MPa		

표 3-2 대상교량의 단면제원

(단위 : mm)

교량	방향	구분	위치	폭	두께	높이	재질	허용응력 (MPa)
냉천1교	내남	거더	상부플랜지	1000	46	-	SM570	250
			하부플랜지	1000	58	-		
			복부	-	24	2200		
		가로보	상부플랜지	400	20	-	SM490B	175
			하부플랜지	400	20	-		
			복부	-	20	1040		
	바닥판			-	250	-	40MPa	
	외동	거더	상부플랜지	1000	46	-	SM570	250
			하부플랜지	1000	58	-		
			복부	-	24	2200		
		가로보	상부플랜지	400	20	-	SM490B	175
			하부플랜지	400	20	-		
복부			-	20	1040			
바닥판			-	250	-	40MPa		
홈실교	내남	거더	상부플랜지	1000	34	-	SM570	260
			하부플랜지	1000	38	-		
			복부	-	20	2200		
		가로보	상부플랜지	400	20	-	SM400	140
			하부플랜지	400	20	-		
			복부	-	20	1950		
	바닥판			-	250	-	40MPa	
	외동	거더	상부플랜지	1000	34	-	SM570	260
			하부플랜지	1000	38	-		
			복부	-	20	1950		
		가로보	상부플랜지	400	20	-	SM400	140
			하부플랜지	400	20	-		
복부			-	20	1400			
바닥판			-	250	-	40MPa		
대계1교	장승포	거더	상부플랜지	1000	48	-	SM520	200
			하부플랜지	1000	48	-		
			복부	-	28	2200		
		가로보	상부플랜지	400	20	-	SM490	190
			하부플랜지	400	20	-		
			복부	-	20	820		
	바닥판			-	250	-	40MPa	
	장목	거더	상부플랜지	750	48	-	SM520	200
			하부플랜지	750	48	-		
			복부	-	28	2200		
		가로보	상부플랜지	400	20	-	SM490	190
			하부플랜지	400	20	-		
복부			-	20	820			
바닥판			-	250	-	40MPa		

대상교량 5개교를 평균한 대표단면의 일반제원과 단면제원을 표 3-3 ~ 표 3-5로 나타내었다. 소수주거터교에 사용하고 있는 강재는 일반적으로 주거터는 SM570, 가로보는 SM490, 바닥판은 콘크리트 설계기준강도 40MPa를 적용하였으며, 주거터의 강재는 강재의 두께가 증가하더라도 항복강도가 변함이 없는 TMCP강재를 적용하였다. 교량 길이는 평균 최대경간장 약 55m를 적용하여 일반적으로 적용되는 3경간으로 하였고, 설계활화중으로 DB-24 및 DL-24를 적용하였다.

표 3-4는 대상교량의 주거터 및 가로보의 상부플랜지, 하부플랜지, 복부와 바닥판의 중앙부 및 지점부 단면 제원을 나타내었다.

주거터 및 가로보의 제원에서 상부플랜지, 하부플랜지 및 웨브 높이는 1단위에서 반올림하여 치수를 조정하였으며, 강재의 두께의 경우 짝수로 제작이 되므로 원래의 평균값에서 -1mm하여 구조해석을 수행하였다. 여기서 강재의 두께에 -1mm를 한 것은 구조해석시 단면이 작은 경우 더 불리한 경우로 수행하기 위해 +1mm를 적용하는 것보다 -1mm를 적용하는 것이 더 합리적이라고 판단되었기 때문이다.

표 3-3 대표단면 일반제원

교량길이	3@55m
교량폭	11m
거터간격	5.8m
교량등급	1등급
설계활화중	DB-24 및 DL-24
사용재료	주거터: SM 570 TMCP
	가로보: SM 490
	바닥판 :40MPa

표 3-4 일반부 중앙부 및 지점부 대표단면제원

(단위 : mm)

위치	위치	폭	두께	높이	재질	허용응력 (MPa)	
중앙부	거터	상부플랜지	870	40	-	SM570	260
		하부플랜지	870	44	-		
		복부	-	24	2.470		
	가로보	상부플랜지	360	16	-	SM490	190
		하부플랜지	360	16	-		
		복부	-	18	1110		
	바닥판		-	263	-	40MPa	
지점부	거터	상부플랜지	870	50	-	SM570	260
		하부플랜지	870	54	-		
		복부	-	28	3190		
	가로보	상부플랜지	360	20	-	SM490	190
		하부플랜지	360	20	-		
		복부	-	22	1920		
	바닥판		-	263	-	40MPa	

3.2 소수거더교 구조해석 및 단면 산정

3.2.1 구조해석

평균단면의 응력을 검토하기 위하여 범용구조해석프로그램을 활용하여 구조해석을 실시하였다. 구조해석은 거더만을 범요소로 모델링하였으며, 하중재하는 합성전은 바닥판, 거더 및 가로보의 자중을 재하하였고, 합성후는 포장하중 및 활하중으로 DL하중에 대해 검토하였다. 여기서 DL하중을 재하한 것은 DB하중과 DL하중에 대한 해석결과 DL하중에서 더 큰 응력이 발생하고 있으므로 도로교 설계기준(2005)에 따라 더 불리한 응력이 발생하는 DL하중에 대해서 해석을 수행하였으며, 건조수축, 크리프 및 난간 등은 총 응력의 2~5%정도로 구조해석시 고려하지 않았다. 그림 3-1은 구조해석모델을 나타내었으며, 여기서 활용한 정모멘트와 부모멘트는 1경간 중앙부 및 내측 지점부의 모멘트이다.

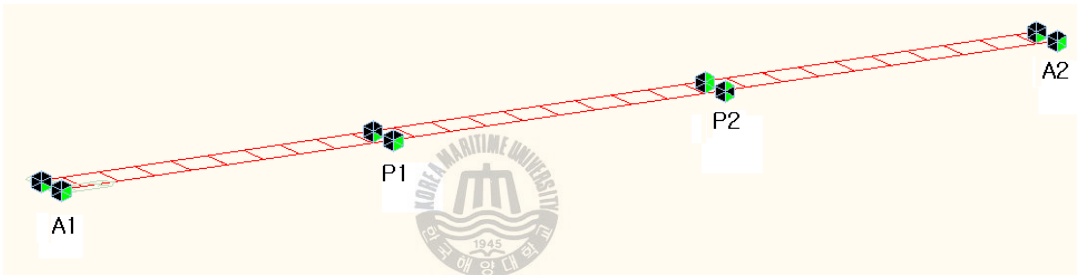


그림 3-1 2거더교의 구조해석 모델

3.2.2 2거더의 단면 산정

5개의 대상교량 중 3개교의 구조해석을 실제 단면에 대하여 수행하여 허용응력에 대한 휨응력의 비율을 표 3-5과 같이 나타내었으며, 허용응력에 대한 대상교량의 평균응력은 1경간 중앙부는 약74%, 지점부는 약 71%로 나타났는데, 이들 값은 2거더, 3거더 및 4거더의 단면 산정할 때 응력의 비교·검토에 활용하고자 한다. 여기서 구조해석 수행시 단경간인 천성교 부산방향, 1경간의 지간길이 차이에 의해 응력의 차이가 발생하는 흠실교, 4거더교인 구증교 등은 제외하였다.

대상교량의 평균 단면에 의한 구조해석 시 각 지점부의 구속조건을 그림 3-2와 같이 실제교량의 구속조건과 동일하게 하였으며, 여기서 X방향은 교축방향, Y방향은 교축직각방향, Z방향은 연직방향을 나타낸다. 또한 Fix는 X, Y, Z방향에 대해 모두 구속, Y Free는 X, Z방향에 대한 구속, XY Free는 Z방향에 대해 구속, X Free는 Y, Z방향에 대한 구속을 의미한다.

구조해석을 수행한 결과 허용응력에 대한 응력 비율은 1경간 중앙부, 지점부에서 90%이상의 결과를 나타냈으며, 대상교량의 허용응력에 대한 평균응력이 속하는 70~80%와 비교할 때, 그 값의 차이는 크므로 주형의 단면을 감소시켜 응력의 범위를 맞추었다. 여러번의 구조해석을 수행한 결과 표 3-6의 단면이 1경간 중앙부는 79%, 지점부는 75%로 본 논문에서 고려한 응력의 범위에 속하므로 이 단면을 2거더의 대표 단면으로 선정하였다.

또한 가로보의 경우 주형의 응력변화에 크게 영향을 미치지 않으므로 가로보의 단면 변화는 시키지 않았으며, 가로보의 위치는 복부변위 및 가로보 응력이 가장 작게 발생하는 하단에 배치하는 것이 효율적이나 중간배치와 하단배치의 응력차이가 작고 시공의 효율성 등을 고려하여 중단에 배치하는 것으로 하였다(권순철, 2008).

3거더 및 4거더의 단면을 산정시 주형의 형상비율을 맞추기 위하여 2거더의 플랜지 폭에 대한 웹 높이 비를 구하였는데, 2거더의 1경간 중앙부에서는 32.7%, 지점부에서는 29%로 나타났다.

표 3-5 허용응력에 대한 대상교량 응력 비교

(단위:%)

구 분	허용응력 (MPa)	1경간 중앙	지점부
대계교	200	83.25	74.06
천성교 거제	260	75.80	80.40
냉천1교	250	63.61	59.55
평균	-	74.22	71.34



그림 3-2 평균 대표단면의 구속조건

표 3-6 2거더교의 중앙부 및 지점부 대표단면제원

(단위 : mm)

위치	구분	위치	폭	두께	높이	재질	허용응력 (MPa)
중앙부	거더	상부플랜지	760	40	-	SM570	260
		하부플랜지	760	44	-		
		복부	-	24	2322		
	가로보	상부플랜지	360	16	-	SM490	190
		하부플랜지	360	16	-		
		복부	-	18	1110		
바닥판			-	263	-	40MPa	
지점부	거더	상부플랜지	760	50	-	SM570	260
		하부플랜지	760	54	-		
		복부	-	28	2584		
	가로보	상부플랜지	360	20	-	SM490	190
		하부플랜지	360	20	-		
		복부	-	22	1920		
바닥판			-	263	-	40MPa	

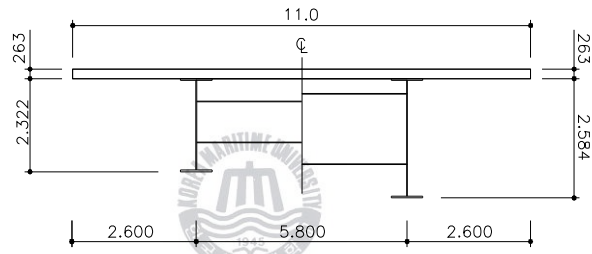


그림 3-3 대표단면(2거더)의 횡단면도

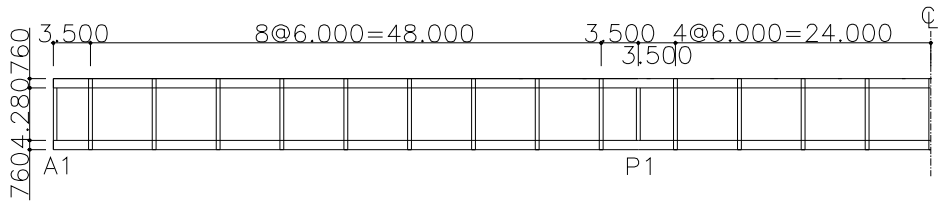


그림 3-4 대표단면(2거더)의 평면도

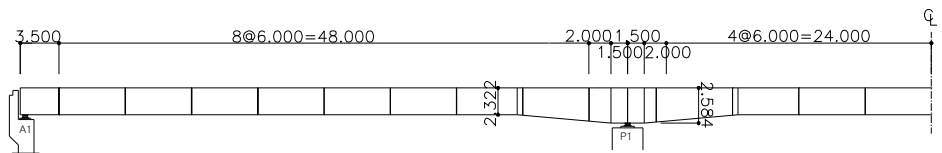


그림 3-5 대표단면(2거더)의 종평면도

3.2.3 3거더 단면 산정

현재 국내의 경우 소수거더교 공사 중 2거더교가 높은 비중을 차지하므로 3거더와 4거더의 자료는 극히 미비한 수준이다. 따라서 본 논문에서는 2거더의 단면을 기초로 3거더와 4거더의 표준단면을 제시하고자 한다.

먼저 산정된 2거더의 거더 단면을 기초로하여 2거더와 바닥판 두께 및 교량폭이 동일한 3거더의 거더 단면을 선정하였다. 2거더의 대표단면으로 구조해석을 수행하여 산출된 모멘트를 2거더의 1거더가 받는 모멘트로, 2거더의 총 모멘트와 3거더의 총 모멘트는 동일하다고 가정하였으며, 2거더와 3거더의 1거더 모멘트 비율로 3거더의 거더 단면을 산정하였다. 산정된 2거더교와 3거더교의 1거더 모멘트의 비율은 33% 정도로 나타나, 2거더의 거더높이를 33%감소시키고, 이 거더높이와 플랜지 폭의 형상비를 1경간 중앙부에는 32.7%, 지점부에는 29%로 맞추어 단면을 선정하였다. 이 단면으로 구조해석을 수행하여 응력을 검토한 결과 1경간 중앙부와 지점부는 허용응력의 70%이하로 나타났으며, 이것은 2거더의 단면을 크게 감소시킨 것을 알 수 있다. 따라서 2거더교에서 거더높이를 33%~15%까지 감소 시키면서 구조해석을 수행하여 응력을 검토하였으며, 거더높이를 16%정도 감소시킨 단면의 응력을 검토한 결과 1경간 중앙분에서 79%, 지점부에서는 75%로 가장 적합하게 나타났다.

표 3-7에는 3거더의 단면제원, 그림 3-6 및 그림 3-7에는 3거더의 평면도를 나타내었다. 거더의 간격은 3.65m이고 3거더교는 2거더교와 마찬가지로 중앙 지점으로 갈수록 거더높이가 커지는 변단면교량으로 중앙부의 거더높이는 1.95m, 지점부는 2.171m로 나타났다. 또한 3거더교의 교량연장 및 경간구성이 2거더교와 동일하므로 가로보의 간격도 2거더교와 동일하게 적용하였다.

표 3-7 3거더교의 중앙부 및 지점부 대표단면제원

(단위 : mm)

위치	구분	위치	폭	두께	높이	재질	허용응력 (MPa)
중앙부	거더	상부플랜지	638	40	-	SM570	260
		하부플랜지	638	44	-		
		복부	-	24	1950		
	가로보	상부플랜지	360	16	-	SM490	190
		하부플랜지	360	16	-		
		복부	-	18	1110		
바닥판		-	-	263	-	40MPa	
지점부	거더	상부플랜지	638	50	-	SM570	260
		하부플랜지	638	54	-		
		복부	-	28	2171		
	가로보	상부플랜지	360	20	-	SM490	190
		하부플랜지	360	20	-		
		복부	-	22	1920		
바닥판		-	-	263	-	40MPa	

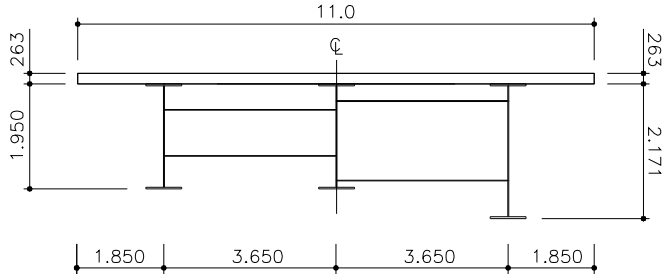


그림 3-8 3거더의 횡평면도

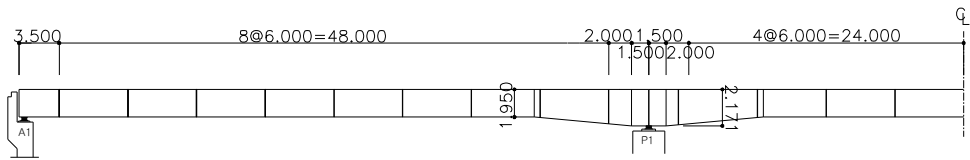


그림 3-9 3거더의 종평면도

3.2.3 4거더 단면 선정

4거더의 경우도 3거더와 같이 2거더의 주형 단면을 기초로 바닥판 두께 및 교량폭이 동일한 단면을 선정하였다.

2거더의 대표단면으로 구조해석을 수행하여 산출된 모멘트를 2거더의 1거더가 받는 모멘트로, 2거더의 총 모멘트와 4거더의 총 모멘트는 동일하다고 가정하였으며, 2거더와 4거더의 1거더 모멘트 비율로 4거더의 거더 단면을 선정하였다. 선정된 2거더교와 4거더교의 1거더 모멘트의 비율은 50% 정도로 나타났으며, 2거더의 거더높이를 50% 감소시키고, 이 거더높이와 플랜지 폭의 형상비를 1경간 중앙부에는 32.7%, 지점부에는 29%로 맞추어 단면을 선정하였다. 이 단면으로 구조해석을 수행하여 응력을 검토한 결과 1경간 중앙부와 지점부는 허용응력의 70%이하로 나타났으며, 이것은 2거더의 단면을 크게 감소시킨 것을 알 수 있다. 따라서 2거더교에서 거더높이를 50%~20%까지 감소 시키면서 구조해석을 수행하여 응력을 검토하였으며, 거더높이를 25%정도 감소시킨 단면의 응력을 검토한 결과 1경간 중앙분에서 76%, 지점부에서는 73%로 가장 적합하게 나타났다.

4거더의 단면제원을 표 3-8에 나타내었으며, 평면도를 그림 3-8과 그림 3-9에 나타내었다. 여기서거더의 간격은 3.15m이고 일반부의 거더높이는 1.74m, 지점부는 1.94m로 나타났다.

표 3-8 4거더의 중앙부 및 지점부 대표단면제원

(단위 : mm)

위치	구분	위치	폭	두께	높이	재질	허용응력 (MPa)
중앙부	거더	상부플랜지	570	40	-	SM570	260
		하부플랜지	570	44	-		
		복부	-	24	1742		
	가로보	상부플랜지	360	16	-	SM490	190
		하부플랜지	360	16	-		
		복부	-	18	1110		
바닥판		-	-	263	-	40MPa	
지점부	거더	상부플랜지	570	50	-	SM570	260
		하부플랜지	570	54	-		
		복부	-	28	1938		
	가로보	상부플랜지	360	20	-	SM490	190
		하부플랜지	360	20	-		
		복부	-	22	1920		
바닥판		-	-	263	-	40MPa	

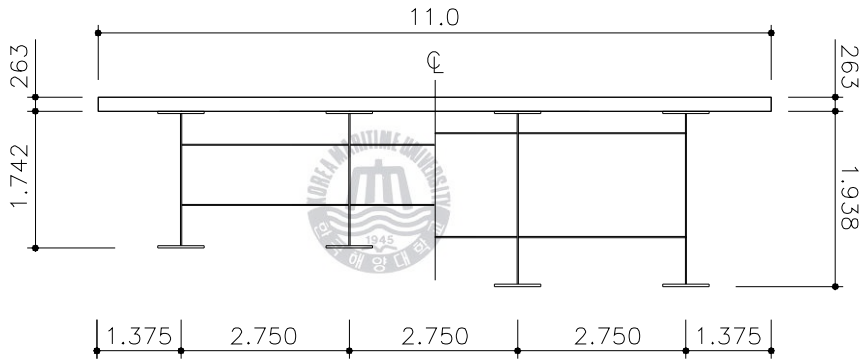


그림 3-8 4거더의 횡단면도

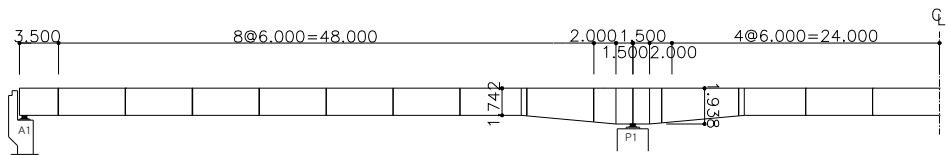


그림 3-9 4거더의 종평면도

3.3 소수거더교의 설계단계 공사비 비교

소수거더교는 후판 강재의 사용을 통하여 부재를 단순화하고 거더의 수를 가능한 한 줄이며, 브레이싱이나 가로보 등의 횡방향 부재도 생략하거나 최대한으로 감소시켰기 때문에 시공비를 줄일 수 있으며, 유지관리시에도 피로에 의한 균열 발생이 우려되는

부위와 채도장 면적이 감소되므로 유리관리비도 줄일 수 있다.

따라서 우리나라에서도 건설예산과 유지관리비의 절감을 위하여 기존의 강박스 거더교를 지양하고 합리화된 소수거더교를 도입하고 있으며, 제한적인 형태의 소수거더교가 설계되어 있거나 시공 중에 있다. 그러나 아직 설계와 시공이 초기 단계에 있으며, 설계기준 등과 같은 구체적인 기준이나 경제성 자료 등이 제시되어 있지 않은 실정이며, 소수거더교 중 2거더교의 연구만이 일부 수행되고 있다.

따라서 본 논문에서는 소수거더교의 경제성 자료를 제시하기 위하여 제안한 2거더교의 상부공사비 대표공종을 활용하여 3거더 및 4거더의 상부공사비를 산출하여 생애주기비용 중 직접공사비의 자료를 제시하고자 한다.

2장에서 산정한 상부공사비의 대표공종의 회귀식은 교량연장 및 바닥판 면적에 대하여 산출하였기 때문에 거더개수에 따른 보정을 해주어야 한다. 산정된 2거더, 3거더 및 4거더의 중량을 산출하여 2거더에 대한 3거더, 4거더의 중량비를 보정계수로 하였다.

본 논문에서 제안한 대표공종은 바닥판 제작에 따라 프리캐스트 바닥판 교량과 현장타설 교량으로 분류하였기 때문에 공사비도 바닥판 제작에 따라 산출하였다.

표 3-9은 3거더 및 4거더의 거더 중량 보정계수를 나타내었다. 대표공종 항목 중 강교제작의 수량을 산출할 때 이 보정계수를 곱하여 거더 개수에 대한 수량을 산출하였다.

표 3-9 거더개수에 대한 공사비 보정계수

보정계수	3거더	4거더
	1.255	1.491

3.2절에서 산정한 소수거더교의 대표단면의 단면제원으로 제안한 대표공종의 회귀식에 적용하여 거더개수별 강교제작비용과 상부공사비용을 표 3-10에 나타내었다. 현장타설의 상부공사비가 프리캐스트 바닥판의 공사비 보다 약 13%정도 많은 것으로 나타났다. 이것은 프리캐스트의 경우 공장에서 제작하여 현장에서 연결하는 방법이므로 현장타설 바닥판 제작보다 인력을 절감할 수 있기 때문인 것으로 판단된다.

표 3-10 대표단면의 거더개수에 따른 공사비 비교

(단위:백만원)

구 분	현장타설		프리캐스트	
	상부공사비	강교제작	상부공사비	강교제작
2거더	1,945	897	1,712	805
3거더	2,177	1,126	1,920	1,010
4거더	2,392	1,338	2,113	1,200

표 3-11는 2장에서 산출된 상부공사비, 하부공사비, 토공 및 부대공사비등을 전체 공사비에 대한 항목별로 나타낸 비율을 이용하여 2거더, 3거더 및 4거더의 전체 공사비를 산출한 것을 나타내었다. 항목별 구성비율은 상부공사비 약 72%, 하부공사비 약 20%, 토공공사비 약2%, 부대공 공사비 약 6% 정도로 나타났다.

본 장에서는 향후 소수거더교의 LCC예측 및 분석에 활용될 기초자료를 제시해주고자 한다.

표 3-11 항목별 구성비율을 이용한 전체 공사비 산출

(단위:백만원)

구 분	상부공사비	하부공사비	토공사비	부대공사비	전체공사비
현장 타설	1,945	531	64	153	2,693
	2,177	595	71	171	3,015
	2,392	654	78	188	3,312
프리 캐스트	1,712	468	56	135	2,371
	1,920	525	63	151	2,659
	2,113	578	69	166	2,925



4장. 소수거더교의 LCC예측 및 경제성 분석

대규모 사회간접자본시설의 건설은 국가예산의 상당부분을 차지함으로써 국가경제에 상당한 파급효과를 주게 되는 큰 대규모 사업이 많다. 이로 인하여 대형 국책사업은 사회·경제적, 환경적 논란의 쟁점이 되기도 한다. 그리고 건설 구조물의 경우 다른 재화에 비해 공용수명이 길기 때문에 유지관리가 적절하게 이루어지지 않으면 구조물 이용자에게 심각한 안전상의 문제가 초래될 뿐만 아니라 새로운 구조물로 재건할 경우 막대한 비용이 발생하게 된다.

예로 1994년 붕괴되었던 성수대교의 경우 붕괴로 인한 교체비용과 도로를 이용하지 못하여 인접 우회도로를 이용하는 차량에 대한 혼잡비용이 발생하여 50억원정도의 손실을 입은 것으로 분석된 바 있다.

그리고 당산철교의 경우 철거됨에 따라 다시 재건하는 비용이 1,000억원정도 소요되었으며, 교량을 이용하지 못해 다른 지하철 노선으로 우회하거나 버스를 갈아타면서 발향하는 사용자 비용까지 고려하면 그 손실액은 상당히 클 것으로 판단된다.

1992년 창선대교는 5번째 교각이 무너지면서 붕괴하여 하루 약 2,000대의 교통통행을 두절시켰으며, 재건하는 비용과 교량통행 두절로 인한 사용자비용 등의 손실액은 상당히 클 것으로 판단된다.

이러한 대규모 건설사고의 계기로 인하여 정부는 1995년에 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”을 제정하고 건설교통부의 안전부서, 지방자치단체의 건설안전관리본부 및 시설안전관리공단 등을 설치하여 교량을 포함한 각종 사회기반 시설물과 민간 시설물의 유지관리 및 안전관리를 적극적으로 수행되기 시작하면서 시설물 안전 및 유지관리 체계를 본격적으로 구축하기 시작하였다. 이로 인하여 유지관리 분야의 투자가 많이 증가하였으나 과학적이고 체계적인 유지관리 투자가 이루어지고 있지 않으며 예산 또한 매우 부족한 실정이다. 최근 구조재 및 마감재의 내구성 향상으로 시설물 수명이 점차 장기화하여 수명기간동안 투입되는 유지관리비의 총액이 증대되고 있으며 설비가 고도화되어 이 부문이 차지하는 비율이 높아지고 있기 때문에 유지관리에 대하여 보다 더 관심을 기울여야 할 필요가 있다.

현재 국내 건설구조물 시공의 경우 구조물의 장기비용에 대한 고려가 미흡하나, 선진국의 경우 구조물의 수명주기비용(LCC)에 대한 정보화와 이로부터 합리적인 의사결정을 하기 위해 노력해오고 있다. 따라서 본 논문에서는 앞서 산출한 소수거더교의 공사비를 활용하여 LCC를 예측·비교함으로써 경제적이고 합리적인 의사결정을 도와주고자 한다.

4.1 LCC의 개념

모든 교량은 기획·설계 및 건설공사로 구분되는 초기투자단계를 지나 운용비용, 폐기처분 및 개축단계로 이어지는 계획-실시-검사-시정(Plan-Do-Check-Action)과 같은 일련의 과정을 거치게 되는데, 교량의 계획단계, 설계단계, 입찰 및 계약단계, 시공 계획단계, 시공단계, 인도단계, 운영단계, 폐기처분단계 등의 전과정을 교량의 생애주기(Life Cycle:LC)라고 한다. 따라서 교량의 생애주기비용(Life Cycle Cost : LCC)은 교량의 생애주기 동안에 발생하는 모든 비용 즉 계획, 설계, 운영 및 폐기처분 등에 소요되는 전체비용을 의미하는 경제능률을 평가하는 방법으로 비용 효율성뿐만 아니라, 기증 및 미관 등의 정성적인 항목을 포함하여 의사결정의 합리적인 도구로 활용할 수 있는 경제성 평가 방법이다.

그림 4-1에는 교량의 유지관리에 따른 교량의 생애주기 관계를 나타내었다. 교량의 공용년수는 적절한 보수·보강을 수행함에 따라 성능이 개선될 뿐만 아니라 교량의 수명을 연장 할 수 있다. 그러므로 언제 어느 시점에서 어떻게 보수·보강을 시행하느냐를 정확히 결정하는 것이 무엇보다 중요하다.

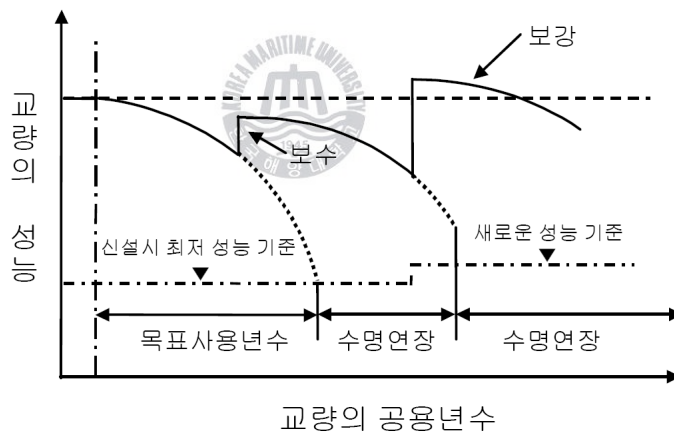


그림 4-1 유지관리에 따른 교량의 공용년수의 관계

4.1.1 LCC 구성항목

일반적으로 교량의 LCC를 구성하는 항목으로 기획·설계비, 시공비를 포함하는 초기 투자비, 교량의 유지관리과정에서 발생하는 일반관리비, 유지보수비, 사용자비용의 유지관리비와 교량의 해체·폐기비용, 잔존가치를 포함하는 해체·폐기비용으로 구성된다. 본 논문에서는 표 4-1에 나타난 구성항목과 같이 교량의 LCC를 분석하고자 한다.

표 4-1 교량 LCC 구성항목

구분		항목
초기투자비	기획·설계비	설계비
		감리비
	시공비	직접공사비
		간접공사비
		이윤 및 일반관리비
유지관리비	일반관리비	인건비
	점검 및 진단비용	정밀안전진단비
		정밀점검비
		정기점검
	유지보수비	보수비
		교체비
	사용자비용	차량운행비용
시간지연비용		
해체·폐기비	해체·폐기비용	해체비 및 폐기비
	잔존가치	폐기물재활용비

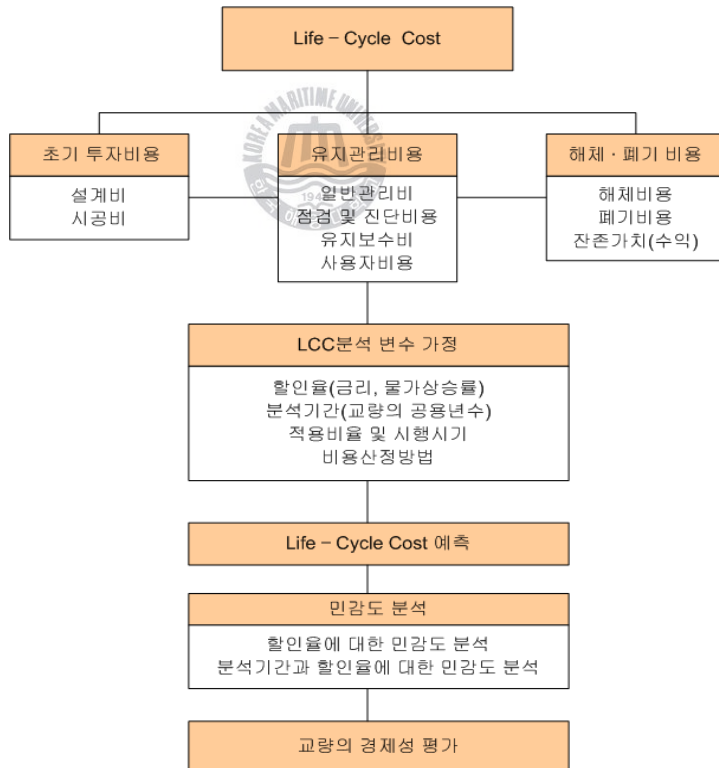


그림 4-2 LCC 평가 분석 방법

그림 4-2는 LCC 평가 방법을 나타내었다. 분석기간과 할인율을 가정하고, LCC 항목인 초기투자비용, 유지관리비용, 해체·폐기비용을 산정한다. 유지관리비의 경우 보수·보강시기 및 비용에 따라 크게 달라지므로 시행시기와 비용 적용비율은 먼저 정해야 한다. 모든 비용이 산출되면 가정한 할인율과 분석기간에 따른 민감도 분석을 실시하여 소수거더교의 경제성을 평가한다.

4.1.2 LCC 활용

LCC가 활용되는 분야는 다양하며, 다음과 같이 정리 할 수 있다.

1) 시설물의 안전 및 유지관리를 감안한 대안설정에 활용

일반적으로 시설물은 공용년수가 길기 때문에 계획·설계단계에 유지관리비용을 사전적으로 고려하여 초기투자비용을 결정할 필요가 있다. 이 때 발주자는 시설물 투자의 경제성을 재고할 수 있는 안전 및 유지관리 수준의 다양한 대안을 마련하고 이 대안에 대한 LCC를 예측하여 평가할 수 있다. 이러한 방식을 이용하여 사전적으로 계획·설계 단계에 시설물의 유지관리수준을 감안하여 최적대안을 설정함으로써 시설물의 공용년수와 안전성을 확보할 수 있는 전력의 수립을 가능하게 한다.

2) 시설물 설계단계에 VE를 위한 수단으로 활용

설계자는 항상 여러 가지의 설계대안 중 최적대안을 선택하여야 하는 문제에 당면하는데 이때 LCC예측기법은 다른 조건이 비슷할 경우, 최적대안 선정에 위한 중요한 의사결정 도구로 활용 될 수 있다. Turn-Key 공사 등에 있어서 발주자와 시공자는 설계 및 시공 중 수많은 부품들에 대한 선택을 하게 되는데 이때 LCC 예측기법을 활용하면 각 부품들에 대한 경제성을 고려한 선택을 할 수 있다. VE기법도 시설물의 수명주기 동안에 기능향상과 원가절감의 목적으로 사용되는데 이때의 원가분석은 기본적으로 LCC를 근거로 하므로 LCC예측기법은 VE에 있어서도 필수적이다.

3) 보수, 전면 개량보수 등의 의사결정에 활용

시설물을 장기간 사용하게 되면 노후화가 심하게 되고 본래의기능이 저하하면 시설물을 폐기처분 후 재개발 할 것인가 또는 보수를 통해 사용기간을 연장 할 것인가에 관한 판단이 필요하게 되는데, 이때 LCC예측기법을 활용함으로써 어떠한 선택이 효율적인가를 판단할 수 있다.

4) 경제적인 안전 및 유지관리 수준 판단에 활용

유지보수수준에 따른 시설물의 기능수준 및 예상수명 등을 동시에 고려하여 경제적인 유지보수수준에 대한 판단에 LCC 개념이 활용될 수 있다. 즉, 대상시설물을 선정하고

LCC가 최소이면서 긴 수명을 제공할 수 있도록 적용할 기술의 내용과 수준을 결정하고 나아가 최적의 보수시기를 결정하는 등 구체적이고 합리적으로 보수행위를 계획하는 데에 활용할 수 있다.

5) 국가차원의 시설물 안전 및 유지관리 계획수립의 근거자료로 활용

시설물의 공용년수를 감안한 LCC가 추정되어야 할 필요가 있다. 점검 등을 통하여 이들 시설물의 기능이 저하할 징후가 발견되거나 일정기간이 경과하면 정기적으로 필요 부재를 교체하는 등의 적절한 조치를 취하는 것을 예방관리라고 하며, 특히 사회적, 경제적으로 영향도가 큰 시설물은 예방관리가 필수적이다. 이를 위해서는 시설물이 존치되는 기간동안의 시설물 각 부재의 공용년수의 변화경향을 정확하게 파악하여야 하며 공용년수에 영향을 미치는 사회·경제적 요인을 분석해야 할 필요가 있다.

4.2 LCC 분석방법

4.2.1 분석기간

모든 시설물은 교량의 구조형식, 환경특성 등에 의해 고유의 수명을 가지게 된다. 분석기간은 시설물의 공용년수를 얼마동안으로 산정 할 것인가에 대한 가정이므로 시설물의 수명에 대한 고려가 필요하다. 표 4-2에 시설물의 공용년수에 대하여 나타내었다.

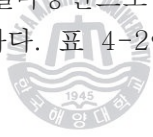


표 4-2 교량의 공용년수

종류	내용
내구적 수명	교량의 성능저하와 재료 열화, 사용성 저하 등 구조역학적 및 구조 공학적으로 정의되는 수명
기능적수명	건설된 교량이 시대의 변천과 함께 원래의 기능을 충분히 달성하지 못함으로써 결정되는 수명
사회적 수명	기술의 발달로 사용가치가 현저히 떨어지는 것에 의해 결정되는 수명
경제적 수명	교량의 감가상각 자산으로서의 공용년수와 고속도로나 유료교에서의 건설비 상환을 위한 경제적으로 가장 효율적인 방법으로 기능을 다할 수 있을 때까지의 수명
법적 수명	공공의 안전을 위해 법으로 정해 놓은 수명

표 4-3 교량의 분석기간 선정 기준

종 류	내 용
대안의 경제적 수명	고려하고 있는 대안의 경제적 수명이 동일한 경우에는 경제적 수명을 분석기간으로 하는 방법
대안들의 경제적 수명의 배수	대안의 경제적 수명이 상이한 경우에는 그 공배수를 분석기간으로 하는 방법
임무수명	시설물의 임무가 수행될 기간 즉, 발주자의 목적을 수행하는 기간까지를 분석기간으로 정하는 방법
임의기간	보통 시설물을 영구히 유지해야 되는 경우에는 분석기간을 임의로 정한다.

분석기간의 결정은 LCC분석 과정 중 중요한 문제이다. 분석기간은 발주자의 처해있는 상황과 발주자의 정책, 목적, 관점 등을 고려하여야 하는데 표 4-3과 같은 기준에 의해 선정하는 것이 일반적이다.

4.2.2 할인율

LCC분석은 각각의 대안에 대하여 전체 생애에 걸쳐서 발생하는 비용을 화폐가치로 평가하여야 하며, 각 비용이 발생하는 시점이 동일하기 때문에 각 비용을 임의의 시점으로 환산하여야 한다.

할인율이란 시간에 대한 화폐의 가치를 나타내는 개념으로써 일반적으로 현재 금액을 미래금액으로 환산하기 위하여 물가상승률 또는 이자율을 적용하며, 미래가치를 현재가치로 환산할 때는 할인율(discount rate) 또는 이자율을 적용한다. 현재의 금액은 시간이 경과함에 따라 이자가 발생되므로 미래 어느 시점에서는 현재금액과 그 동안의 이자를 합한 금액이 되므로 미래의 금액은 현재의 동일한 금액보다 가치가 적어지게 된다. 경제성 분석에서 물가상승률과 이자율에 따라 우선순위가 달라질 수 있기 때문에 물가상승률은 필수적으로 고려해야 한다.

4.2.3 시간적 가치 비용 산정 방법

LCC분석에서 각 대안을 비교하기 위하여, 우선 동일한 시점을 정하고 각 대안에 의해 발생하는 현재비용과 미래비용을 동일한 시점으로 환산해야 한다. 이러한 시간적 가치를 동일시점에서 산정하는 방법을 등가환산이라고 하며, 등가환산의 방법에는 현재가치법과 연등가액법이 있다.

(1) 현재가치법

현재가치법은 시설물의 생애주기동안에 발생하는 모든 비용을 일정한 시점, 즉 현재

시점을 기준으로 환산하는 방법이다. 현재시점은 초기비용이 발생한 시점을 기준으로 하며, 현재시점에서 초기투자자가 이루어지는 경우에는 초기투자비용은 현재시점으로 산정되었기 때문에 환산할 필요가 없다.

매년 동일하게 반복하는 반복비용을 A, 할인율을 i, 분석기간을 n이라고 하면 이 반복비용의 현재가치 P는 식 4.1과 같다.

$$P = \frac{A}{(1+i)^1} + \frac{A}{(1+i)^2} + \frac{A}{(1+i)^3} + \dots + \frac{A}{(1+i)^n} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \times A \quad (\text{식 4.1})$$

그리고 n년 후에 1회만 발생하는 비반복 비용이 F, 할인율이 i이면, 이 비용을 현재가치 P로 환산하는 것은 식 4.2와 같다.

$$P = \frac{F}{(1+i)^n} \quad (\text{식 4.2})$$

(2) 연등가액법

연등가액법은 시설물의 생애주기동안 발생하는 비용이 매년 균일하게 발생한다고 가정할 경우, 이와 대등한 비용은 얼마인가라는 개념을 활용하여 균일한 연간 등가로 환산하는 방법이다. 현재가치법에서 매년 동일한 금액이 반복되는 현재가치 P를 활용하여 식 4.3과 같이 연등가액을 산정할 수 있다. 비반복 비용의 경우 비반복 비용을 현재가치로 환산한 후 초기비용을 연등가액으로 환산하여 사용한다.

$$A = P \times \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (\text{식 4.3})$$

4.3 LCC분석을 위한 가정

4.3.1 분석기간

LCC분석을 위해서는 생애주기동안 발생하게 될 비용을 분석하기 위한 공용년수에 대한 가정이 요구되어진다. 표 4-4와 같이 OECD(1983)에서는 각국의 공용년수를 정리하였다. OECD국가들은 교량의 공용년수를 50년~200년까지 보고있는 것으로 나타났다.

표 4-5에서는 교량의 형식에 따른 공용년수를 나타내었다. 고성능강교량의 공용년수 200년인것을 제외하면 교량의 공용년수는 70년~80년 정도인 것으로 나타났다. 표 4-4와 표4-5와 같이 국가별, 문헌별로 교량의 공연년수를 각각 정해 놓고 있으며, 이

것은 어떠한 방법에 의해 시공 및 유지관리 되는가에 따라 교량의 수명이 달라 질수 있음을 나타내고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 문헌자료를 검토하여 교량의 공용년수를 80년으로 가정하여 거더개수에 따른 소수거더교의 LCC를 예측하고자 한다.

표 4-4 OECD국가별 교량의 공용년수표

국가	공용년수
벨기에	50~100년
덴마크	설계기준에 없음. 평균 50~70년
핀란드	평균 70년, 콘크리트 70년, 강교 90년, 목표공용수명 70년
프랑스	100년에서 수세기 사이
독일	연구진행중
이탈리아	연구진행중
일본	일반교는 50년으로 가정, 중요교량은 100~200년
네덜란드	약 100년, 연구 진행중
노르웨이	50~100년
스웨덴	100년
스위스	대략 80~100년
영국	설계 120년으로 가정
미국	일반교 50~60년, 중요교 100년, AASHTO LRFD 강교 설계기준75년

표 4-5 교량형식에 따른 공용년수

종 류	공용년수	근거문헌
일반교량	75	AASHTO LRFD Spec.
RC교	70	Piringer(1993)
	50	Nishikawa(1997)
PSC교	70	Piringer(1993)
강교	80	Piringer(1993)
고성능강교량 (무도장, PSC바닥판 사용)	200 이상	Nishikawa(1997)
강합성형교	70	Piringer(1993)

4.3.2 할인율

표 4-6에 한국은행과 통계청의 자료를 활용하여 이자율과 물가상승률에 따른 연도별 실질할인율을 산정하였다. 본 논문에서는 은행 예금금리와 물가상승률을 고려한 실질 할인율을 할인율로 사용하였으며, 금리자유화 이후인 1993년 이후의 이자율, 소비자물가지수, 물가상승률 자료의 평균치를 이용하였다. 이자율은 7.0%, 물가상승률은 3.8%이며, 실질할인율은 3.05인 것으로 나타났다. 따라서 LCC분석시 평균 실질할인율의 근사치인 3.0%를 적용하여 경제성 분석을 수행하였다.

표 4-6 이자율, 물가상승률에 따른 연도별 실질할인율

(단위 :%)

년도	이자율	소비자 물가지수	물가상승률	실질할인율
1993	8.5	62.9	4.8	3.53
1994	10.0	66.9	6.2	3.58
1995	10.0	69.9	4.5	5.26
1996	9.0	73.3	4.9	3.91
1997	10.6	76.6	4.5	5.83
1998	13.4	82.3	7.4	5.58
1999	7.1	83.0	0.9	6.10
2000	7.1	84.9	2.3	4.67
2001	5.5	88.3	4.0	1.40
2002	4.7	90.8	2.8	1.86
2003	4.2	94.0	3.4	0.73
2004	3.8	97.3	3.6	0.14
2005	3.6	100.0	2.8	0.75
2006	4.4	102.2	2.2	2.11
2007	5.0	104.8	2.5	2.45
2008	5.7	109.7	4.7	0.93
평균	7.0	86.7	3.8	3.05

주: 소비자물가지수는 2005년을 100으로 기준한 것임.

4.4 LCC예측을 위한 비용분석

LCC예측하기 위하여 본 논문에서는 초기투자비, 유지관리비, 해체폐기비로 항목을 분류하였다. 본 절에서는 LCC예측을 위한 각 항목별 자료 분석과 비용을 산정하였다.

4.4.1 초기투자비

1) 초기공사비

본 논문에서는 3장에서 산정한 2거더, 3거더 및 4거더의 공사비를 직접공사비로 하여 표 4-7과 연장 165m, 폭 11m의 교량의 거더개수별로 초기공사비를 정리하여 나타내었다. 여기서 간접공사비와 일반관리비 및 이윤은 일반적으로 50%정도이며, 본 논문에서는 간접공사비 33%, 일반관리비 및 이윤을 17%를 적용하여 공사비를 산정하였다.

표 4-7 거더별 초기공사비 산정

(단위:백만원)

구분	현장타설바닥판 교량 공사비			프리캐스트 바닥판 교량 공사비		
	2거더	3거더	4거더	2거더	3거더	4거더
직접	2,693	3,015	3,312	2,371	2,659	2,925
간접	889	995	1,093	782	877	965
일반관리비 및 이윤	458	512	563	403	452	497
총공사비	4,040	4,522	4,968	3,557	3,988	4,388
원/m ² (천원)	2,226	2,491	2,737	1,960	2,197	2,418

2) 설계비

설계비는 기본설계비, 실시설계비, 공사감리비가 포함되며 비용은 엔지니어링 사업대가 기준의 규정에 따라 초기 건설공사비에 요율을 적용하여 산출한다. 표 4-8에 건설공사비에 따른 설계비의 요율을 나타내었다.

표 4-8 건설 공사비에 따른 업무별 요율

공사비 요율	업 무 별 요 율(%)			
	기본설계	실시설계	공사감리	계
5천만원 이하	3.24	6.49	3.02	12.75
1억원 이하	3.04	6.07	2.85	11.96
2억원 이하	2.42	4.85	2.26	9.53
3억원 이하	2.22	4.43	2.06	8.71
5억원 이하	2.01	4.03	1.89	7.93
10억원 이하	1.77	3.55	1.66	6.98
20억원 이하	1.63	3.27	1.53	6.43
30억원 이하	1.57	3.15	1.48	6.20
50억원 이하	1.54	3.09	1.45	6.08
100억원 이하	1.51	3.01	1.41	5.93
200억원 이하	1.46	2.91	1.37	5.74
300억원 이하	1.45	2.90	1.35	5.70
500억원 이하	1.41	2.84	1.33	5.58
1,000억원 이하	1.40	2.79	1.30	5.49
2,000억원 이하	1.38	2.76	1.28	5.42
3,000억원 이하	1.37	2.72	1.25	5.34
5,000억원 이하	1.34	2.70	1.23	5.27

교량의 초기 공사비가 30억원~50억원으로 기본설계 1.54, 실시설계 3.09, 공사감리 1.45의 요율을 적용하여 설계비를 산출하면 표 4-9와 같이 나타내었으며, 소요비용은 기본설계비, 실시설계비, 공사감리비의 합을 나타내었다.

표 4-9 설계비와 감리비 비용 산정

바닥판형식	거더개수	업무구분	요율 (%)	소요비용 (백만원)	원/m ² (천원)	총시공비 (백만원)
현장타설	2	기본설계	1.54	246	135	4,286
	3	실시설계	3.09	275	151	4,797
	4	공사감리	1.45	302	166	5,270
프리캐스트	2	기본설계	1.54	216	119	3,773
	3	실시설계	3.09	242	134	4,231
	4	공사감리	1.45	267	147	4,655

4.4.2 유지관리비

(1) 일반관리비

일반관리비는 교량을 유지관리하는데 발생하는 비용으로써 일상점검비, 인건비, 전기세, 수도세, 차량유지비 등이 포함된다. 본 논문에서 일반관리비를 산출시 가장 중요하다고 판단되는 인건비외의 다른 항목들은 제외하였으며, 인건비 산출은 교량형식별 대표적인 경간장을 고려한 가중치를 적용하여 개략적으로 인건비를 산출함으로써 일반관리비를 산출하고자 한다. 고속국도상의 각 등급별 및 평균연봉을 통해 연간 교량 관리를 위해 지출하고 있는 인건비에 대하여 산출한 것을 표 4-10에 나타내었다.

표 4-10 연간 교량 유지관리 인건비

	A급	B급	C급	D급	합계
관리인원(인)	1	3	20	57	81
평균연봉(원)	48,568,000	41,098,000	32,676,000	24,748,000	
인건비(원)	48,568,000	123,294,000	653,520,000	1,410,636,000	2,236,018,000

표 4-10에는 연간 지출하는 일반관리비에 대하여 교량형식별로 평균적으로 적용하는 경간장을 고려한 가중치를 적용하여 교량 형식별 m당 비용으로 산출된 일반관리비를 나타내었다.

표 4-11의 m당 일반관리비는 각 교량 형식별 가중 factor에 교량의 단위 m당 연간 일반관리비 단가를 적용하여 일반관리비를 추정한 것이다. 본 논문에 해당되는 교량형식인 강I형교의 경우는 연간 m당 10,753원의 일반관리비가 소요되는 것으로 나타났다.

표 4-11 교량 형식별 연간 일반관리비

교량형식	연장 (m)	가중 factor	환산연장 (m)	연간일반관리비 (원)	m당 일반관리비 (원/m)
RC슬래브교	6,275	1	6,275	14,981,359	7,168
RC중공슬래브교	4,676	1	4,676	33,519,177	7,168
RCT형교	1,052	1	1,052	7,541,098	7,168
강I형교	835	1.5	1,253	8,978,351	10,753
PSC박스형교	28,933	1.5	43,400	311,102,551	10,753
강관형교	7,729	1.5	11,594	83,106,198	10,753
라멘교	13,617	1	13,617	97,611,342	7,168
트러스교	2,559	2	5,118	36,687,585	14,337
아치교	679	2	1,358	9,734,611	14,337
사장교	7,310	2	14,620	104,801,191	14,337
현수교	4,420	2	8,840	63,368,162	14,337
프리플렉스빔교	6,025	1	6,025	43,189,273	7,168
PSCI형교	66,451	1	66,451	476,343,636	7,168
PSC슬래브교	1,402	1	1,402	10,050,018	7,168
PSC중공슬래브교	943	1	943	6,759,749	7,168
RC박스형교	390	1	390	2,795,654	7,168
강박스형교	83,278	1.5	124,917	895,448,044	10,753
합계	236,574		311,930	2,236,018,000	

표 4-11을 활용하여 본 논문에 해당한 강 I형교의 일반관리비에 연장을 곱하여 연간 소요되는 일반관리비를 산출하였으며, 산출결과는 표 4-12와 같다. 연간 일반관리비는 1,774,245원이 소요되며, m²당 연간 일반관리비는 978원/m²으로 소요되는 것으로 산출되었다.

표 4-12 연간 일반관리비

교량형식	연장 (m)	m당 연간일반관리비 (원)	연간일반관리비 (원)	m ² 당 연간 일반관리비 (원/m ²)
강I형교	165	10,753	1,774,245	978

(2) 점검 및 진단 비용

교량의 점검은 유지관리의 첫 단계로 효과적·효율적인 시설물 관리에 필수적이며, 교량의 장기수명을 가능하게 하는 중요한 요소이다. 교량의 점검은 「시설물 안전 관리에 관한 특별법」에는 교량(1종, 2종)의 안전점검시기를 규정해 놓았으며, 정밀안전 진단은 준공 10년 후 5년에 1회, 정밀점검은 2년에 1회, 정기점검은 1년에 2회로 규정되어 있다. 안전점검의 비용산출은 시설안전공단의 안전점검 및 정밀안전 진단 대가(비용산정)기준에 따라 산정하였으며, 안전점검의 항목으로는 직접인건비, 제경비, 기술

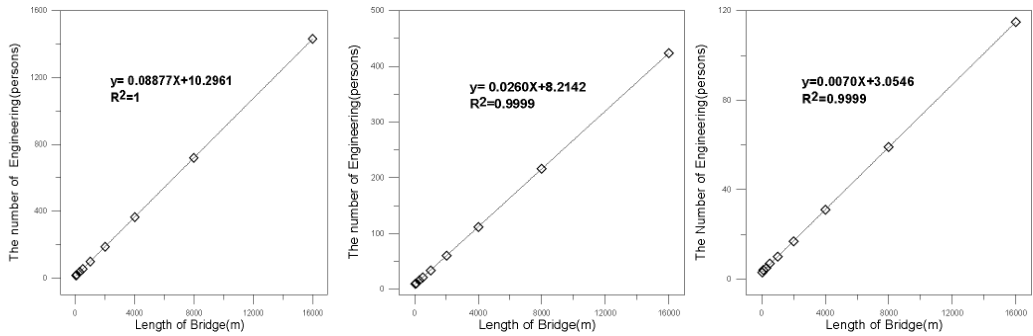
료, 직접경비로 나눌 수 있다. 직접인건비의 경우 표 4-13 및 표 4-14를 활용하여 산정하고 명시되지 않은 직접인건비 기준인원수는 그림 4-3와 그림 4-4을 활용하여 산출할 수 있으며, 조정비를 적용하여 외업 인원수와 전체 기준인원수를 산정할 수 있다.

표 4-13 교량의 기준과 직접인건비 기준 인원수

기준시설물(제 5조 1항 관련)								
시설물	기준규격	계산구분	조정구분					
교량	도로교, 콘크리트구조 4차로	50, 100, 300,	- 도로교, 시가도로교, 일반철도교, 도시(고속)철도교, 복개구조물 - 콘크리트교, 강교, 특수교 - 2차로(단선), 4차로(복선), 8차로					
		500, 1,000,						
		2,000, 4,000,						
		8,000, 16,000						
		연장별 계산						
시설물별 직접인건비 기준인원수(제5조 1항관련) 단위: 인·일(고급기술자)								
구분	기준규격	정밀안전진단		정밀점검		정기점검		
		전체	외업	전체	외업	전체	외업	
교량	도로교, 콘크리트, 4차로	50m	82	15	26	10	5	3
		100m	90	19	28	11	6	4
		300m	124	37	36	16	8	5
		500m	157	55	45	21	11	7
		1,000m	241	99	67	34	17	10
		2,000m	409	188	110	60	29	17
		4,000m	630	365	168	112	46	31
		8,000m	1,067	720	289	216	80	59
16,000m	1,828	1,431	506	424	140	115		

표 4-14 교량의 조정비 (제5조 제1항 관련)

차로별 조정		용도별조정		구조형식별 조정			
차로수	조정비	용도	조정비	구조형식	조정비		
2차로(단선)	0.75	도로교	1.00	콘크리트교	1.00		
4차로(복선)	1.00	시가도로교	1.10				
6차로	1.15	일반철도	1.30			강교	1.10
8차로	1.30	도시(고속)철도	1.50			특수교	1.30
		복개구조물	1.10				

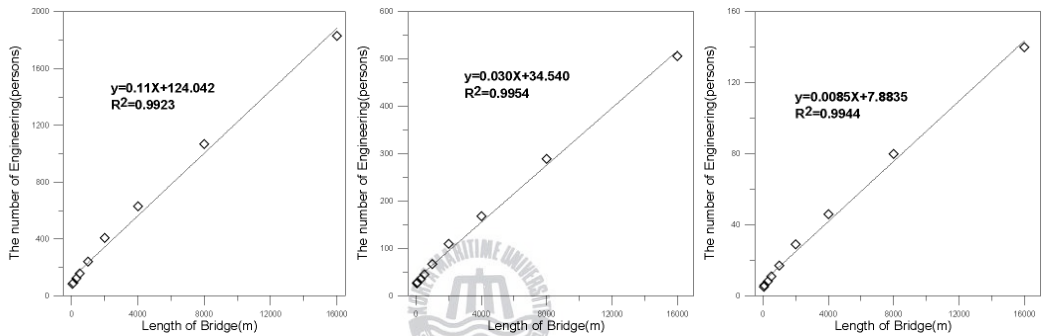


(a) 정밀안전진단

(b) 정밀점검

(c) 정기점검

그림 4-3 점검 및 진단의 외업 기준인원수와 연장의 관계



(a) 정밀안전진단

(b) 정밀점검

(c) 정기점검

그림 4-4 점검 및 진단의 전체 기준인원수와 연장의 관계

직접인건비의 기준인원수에 대하여 직접경비를 대가가준에 따라 점검 및 진단 비용을 산정할 수 있으며, 직접경비의 대가산정기준을 표 4-15에 나타내었다.

직접경비의 예비책정은 정밀안전진단에서는 업무협의, 중간보고 및 최종보고를 실시하고 정밀점검시에는 업무협의와 최종보고를 실시하는 것으로 가정하여 조사기관의 본사와 현장간 이동에 고급기술자 5인 1회 왕복, 업무협의 및 보고시에는 각각 고급기술자 1인 및 2인이 1회 왕복하는 것으로 하였다. 현지보조인부 인원수는 정밀점검과 정밀안전진단이 동일하므로 정밀점검의 인원수에 맞추어 5명으로 하였다.

직접비에 포함되지 않는 제경비(사무용품비, 비품비 등) 및 기술료는 대가산정 기준에 의하여 직접 인건비의 110%~120%, 직접인건비와 제경비를 합한 금액의 20%~40%로 산정할 수 있으며, 본 논문에서는 120%와 40%를 적용하였다.

표 4-15 직접경비 대가기준 (제 8조 관련)

<p>가. 여비 및 현장체재비</p> <p>(1) 체재비: 공무원 여비규정 제 2호표 준용</p> <p>(2) 여비</p> <ul style="list-style-type: none"> - 이동수단 : 새마을호 보통실 기준(대전-부산간 이동가정) - 인원수 : ◦ 정밀점검 : 용역당 8인 1회 왕복 <li style="padding-left: 20px;">◦ 정밀안전진단 : 용역당 10인 1회 왕복 <p>나. 현지 차량운행비</p> <p>(1) 차량의 종류 : 승용차(배기량 2,000cc 이하)</p> <p>(2) 차량대수 : 외업인수(고급기술자 기준) 4인이내 1대(4인초과시 4인당 1대 추가)</p> <p>(3) 대가방법</p> <ul style="list-style-type: none"> - 차량비는 손료와 재료비로 계상한다. - 시간당 손료(상가비, 정비비, 관리비)계수 : $1,547 \times 10^{-7}$ - 주연료(휘발유) : 10l/일 - 잡품 : 주연료비의 10% <p>다. 현지보조인부의 노임</p> <p>(1) 적용인수 : 외업인원수의 40%적용(정밀안전진단 및 정밀점검 동일)</p> <p>(2) 적용임금 : 특별인부의 시중 노임단가 적용</p> <p>라. 위험수당</p> <p>(1) 시설물별 작업 위험도에 따라 적용</p> <p>(2) 현지 직접인건비의 10~20%</p> <p>마. 기계·기구손료</p> <p>(1) 정밀점검 : 직접인건비(전체인원수)의 5%</p> <p>(2) 정밀안전진단 : 직접인건비(전체인원수)의 10%</p> <p>바. 보고서 등 인쇄비</p> <p>(1) 정밀점검 보고서 : 300쪽, 10부(부록포함) 및 CD보고서 5부 기준</p> <p>(2) 정밀안전진단 보고서 : 400쪽, 20부(부록포함) 및 CD보고서 5부 기준</p> <p>(3) 기술심의 보고서 : 400쪽, 20부(부록포함)</p>
--

본 논문의 대상교량들은 연장과 폭원이 동일하기 때문에 인원수 및 안전점검 비용을 동일하게 적용하였다. 표 4-16 및 표 4-17에는 점검 및 진단의 기준인원수 및 1회 비용을 나타내었다. 정기점검 비용의 경우 1년에 2회를 실시하므로 공용년수동안의 비용 산정시 2배의 값으로 산정하여야 한다.

표 4-16 점검 및 진단 소요 인원수

(단위 : 명)

	정밀안전진단		정밀점검		정기점검	
	전체	외업	전체	외업	전체	외업
강I형교	136	24	38	12	9	4

표 4-17 점검 및 진단 비용

	정밀안전진단		정밀점검		정기점검	
	비용 (원)	m ² 당비용 (원/m ²)	비용 (원)	m ² 당비용 (원/m ²)	비용 (원)	m ² 당비용 (원/m ²)
강1형교	73,158,750	40,308	20,845,343	11,485	5,287,874	2,913

(3) 유지보수비

효과적인 유지관리는 교량의 상태를 체계적이고 주기적으로 기록함으로써 손상을 조기에 발견하고, 향후 발생될 손상을 예측하여 교량의 안전성을 확보하고, 설계목적에 부합되도록 하는 것이다. 또한 보수·보강·교체 등의 의사결정에 필요한 자료를 제공함으로써 축적된 점검결과의 분석을 통해 시간이 경과함에 따라 변해가는 교량의 상태를 예측할 수 있고, 이에 따른 적절한 유지관리 계획을 수립하여 예산의 최적분배가 가능하게 된다. 교량의 유지관리를 위해서는 각 시설물의 보수·보강·교체가 적절한 시기에 시행되어야 교량의 수명을 연장시킬 수 있다. 본 논문에서의 교량은 주거터에 고기능 강재인 TMCP강재를, 바닥판은 프리스트레스트 콘크리트를 사용하여 교량의 공용년한동안 보강은 필요 없을 것으로 판단되어 유지관리비 중 보강비용은 제외하였다.

본 논문에서의 교량의 공용년한 동안의 보수·교체주기는 그림 4-5와 같이 이루어진다. 시설물의 교체가 이루어지면 교체가 이루어지는 시점부터 다시 보수와 교체가 이루어진다.

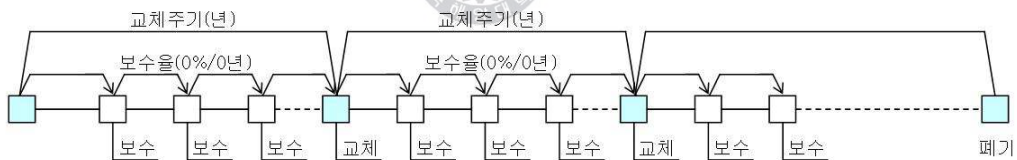


그림4-5 교량의 공용수명동안의 보수와 교체

교량의 보수 및 교체 비용은 시설안전공단에서 제시한 현행 및 예방 유지관리수준에 대한 구성항목별 유지관리비용 적용비율을 참고하였으며, 표 4-17과 같이 나타내었다.

표 4-18 항목별 유지관리비용 적용비율 (초기공사대비)

구분	강교		RC교		PSC교	
	현행	예방	현행	예방	현행	예방
보수비용	0.8	1.0	0.6	1.3	0.6	1.3
보강비용	27.3	63.1	70.7	86.1	70.7	86.1
개축비용	107.1	107.7	112.4	112.4	112.4	112.4

본 논문에서는 거더개수에 따른 교량의 생애주기비용을 분석하므로 강교의 현행의 적용비율을 활용하여 교량의 보수·교체비용을 산정하고자 한다.

보수·교체시설의 초기비용과 유지관리비용의 비율을 적용한 유지관리 1회비용을 표 4-19 및 표 4-20에 나타내었다.

표 4-19 현장타설 바닥판 교량의 유지보수비

(단위:원)

거더수	항목	구성항목						
		바닥판	강교도장	거더	교량받침	교면포장	신축이음장치	
2	공사비	439,723,615	30,673,501	897,441,299	75,886,087	13,713,523	39,164,727	
	보수	비용	3,517,789	245,388	7,179,530	607,089	109,708	313,318
		m ² 당	1,938	135	3,956	334	60	173
	교체	비용	473,582,333	33,035,361	-	81,729,315	-	42,180,411
m ² 당		260,927	18,201	-	45,030	-	23,240	
3	공사비	439,723,615	30,673,501	1,126,288,830	84,935,008	15,348,771	43,834,865	
	보수	비용	3,517,789	245,388	9,010,311	679,480	122,790	350,679
		m ² 당	1,938	135	4,964	374	68	193
	교체	비용	473,582,333	33,035,361	-	91,475,003	-	47,210,150
m ² 당		260,927	18,201	-	50,399	-	26,011	
4	공사비	439,723,615	30,673,501	1,338,084,977	93,309,695	16,862,177	605,124,929	
	보수	비용	3,517,789	245,388	10,704,680	746,478	134,897	4,840,999
		m ² 당	1,938	135	5,898	411	74	2,667
	교체	비용	473,582,333	33,035,361	-	100,494,542	-	651,719,549
m ² 당		260,927	18,201	-	55,369	-	359,074	

표 4-20 프리캐스트 바닥판 교량의 유지보수비

(단위:원)

거더수	항목	구성항목						
		바닥판	강교도장	거더	교량받침	교면포장	신축이음장치	
2	공사비	286,993,043	122,619,326	804,528,606	66,379,446	856,182	21,471,032	
	보수	비용	2,295,944	980,955	6,436,229	531,036	6,849	171,768
		m ² 당	1,265	540	3,546	293	4	95
	교체	비용	309,091,507	132,061,014	-	71,490,663	-	23,124,301
m ² 당		170,298	72,761	-	39,389	-	12,741	
3	공사비	286,993,043	122,619,326	1,009,684,401	76,777,218	990,296	27,727,937	
	보수	비용	2,295,944	980,955	8,077,467	614,218	7,922	221,823
		m ² 당	1,265	540	4,450	338	4	122
	교체	비용	309,091,507	132,061,014	-	82,689,064	-	29,862,988
m ² 당		170,298	72,761	-	45,559	-	16,453	
4	공사비	286,993,043	122,619,326	1,199,552,152	86,479,698	1,115,441	31,231,968	
	보수	비용	2,295,944	980,955	9,596,417	691,838	8,924	249,856
		m ² 당	1,265	540	5,287	381	5	138
	교체	비용	309,091,507	132,061,014	-	93,138,635	-	33,636,830
m ² 당		170,298	72,761	-	51,316	-	18,533	

교량의 보수주기와 교체주기는 표 4-21과 같이 나타내었으며, 보수·교체 시설물은 교량의 성능에 큰 영향을 미치는 교면포장, 거더, 바닥판, 교량받침, 신축이음장치를 고려하였다. 바닥판의 손상원인으로는 균열, 탈락 등이 있으며, 강재의 경우는 주형 균열, 부식 및 변형 등이 있다. 여기서 보수주기와 교체주기는 여러 문헌을 참고하여 선정하였으며, 바닥판, 거더, 교면포장 및 신축이음장치는 도로교의 공용수명 연장방안연구(시설안전기술공단, 2000)을 토대로 하였고, 강교도장 보수주기와 교량받침의 교체주기는 자료가 부족하여 현재 건설되고 있는 교량의 설계보고서를 참고하였다.

표 4-21 교량의 보수·교체주기

구분	보수주기(년)	교체주기(년)
바닥판	12.09	-
강재	도장	-
	주형	-
교량받침	20	60
교면포장	12.19	-
신축이음장치	10.84	12.53

주: (-)는 보수·교체주기가 없는 항목이다.

(4) 사용자비용

교량의 노후와 교통량 증가 등에 의해 교량에는 구조적 또는 기능적 결함이 발생하게 되면 교량의 시설물을 보수·보강 및 교체가 이루어지는데, 이러한 작업공간은 사용자의 이동시간과 차량운행비, 사고위험을 증가시키게 되기 때문에 사용자 비용이 증가하게 된다.

사용자비용은 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$\begin{aligned} \text{총 사용자비용(원/일)} = & \sum_j [\text{차량운행비용단가}_j(\text{원/km}) \times \text{거리}(km) \\ & + \text{시간지연비용단가}_j(\text{원/hr}) \times \text{시간}(hr)] \\ & \times \text{평균우회교통량}_j(\text{대/일}) \end{aligned}$$

본 논문에서의 대상교량은 2거더, 3거더 및 4거더로 구성되어 있고, 3경간 연속교이다. 2거더의 경우 한거더에 균열이 발생하여 전단면으로 손상이 진전되면 나머지 한개의 부재에서 분담할 수 없게 된다. 그러나 3거더나 4거더의 경우는 손상되지 않은 다른 부재가 분담할 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 교체시기에 사용자 비용이 발생한다고 가정하고, 교체시 2거더교의 경우는 1km의 거리를 우회하며, 3거더나 4거더의 경우는 공사교량의 한차선만 운행하는 것으로 하여 사용자비용을 산출하였다.

1) 차량운행비용

차량운행비용은 고정비용과 변동비용을 구분되는데, 고정비용(인건비, 감가상각비, 보험료, 제세공과금)은 교통혼잡의 발생에 상관없이 일정하게 지출되는 이며, 산출값은 표 4-22와 같이 한국교통연구원의 2005년 고정비의 종합비교표를 적용하였다. 인건비는 운전자의 1인당 월평균 급여로서 업무용 승용차, 버스, 화물차는 「2005 건설교통 통계연보」(건설교통부, 2006)의 전산업 월평균급여와 버스조합 및 화물차 연합회를 통하여 산출하였다. 변동비로는 연료비 이외에도 정비비, 엔진오일비, 타이어 마모비 등이 있지만 교통혼잡에 따른 비용의 변화폭이 미미하여 제외하였다. 연료비는 세금을 제외한 가격을 적용하였는데 세금은 공공자금으로서 소비자가 정부에 지급한 금액으로 개개인의 실질적인 소비라고 볼 수 없기 때문이다. 연료비는 2005년도 평균 휘발유와 경유값을 나타내었다.

표 4-22 차량운행비용 산출관련 변수

구분		승용차	소형버스	대형버스	화물차
고정비 (원/시·대)	인건비	12,324	12,324	11,484	9,675
	감가상각비	782	1,043	3,457	2,819
	보험료	109	1344	750	642
	제세공과금	89	45	50	54
변동비 (원/L)	연료비 (원/L)	492.01	530.73	530.73	530.73
		휘발유	경유	경유	경유

국토개발연구원(1995)의 「고속도로 사업효과 조사」에서는 차량속도와 연료의 소모량 사이에 (식 4.4)와 같이 함수식을 도출하였으며 그 계수는 표 4-23에 나타내었다.

$$FC = a \times \frac{1}{S} + b \times S + c \times S^2 + d \times S^3 + e \quad (\text{식 4.4})$$

여기서, FC: 연료소모량 (L/km·대), S: 차량운행속도(km/h)

표 4-23 차량속도별 연료소모량의 계수

차량종류	a	b	c	d	e
승용차	0.974462	-	-0.5771E-5	6.6022E-8	0.042917
소형버스	7.108024	-	0.3750E-6	3.8315E-8	0.007134
대형버스	7.399693	-0.8128E-4	0.1140E-4	-	0.009972
소형화물차	2.557721	-	-0.3187E-4	0.3160E-6	0.180303
중형화물차	5.024225	-0.004258	-	0.3130E-6	0.503512
대형화물차	6.277382	-	-0.8346E-4	0.8180E-6	0.468340

본 논문에서는 (식 4.4)를 활용하여 연료소비량을 산정하였으며, 차량운행비를 산정하

기 위해서는 교량을 통과하는 차량의 대표속도가 필요하다.

따라서 본 논문에서는 2거더의 교체시 우회를 하므로 다차로 일반국도의 설계속도 80km/h를 적용하고, 3거더와 4거더는 교량의 공사로 인하여 교통혼잡이 예상되므로 한국교통연구원(2007)의 연구에 의해 교통혼잡속도를 서비스수준 C의 차량속도 65km를 적용하여 차량운행비용을 산출하였다. 표 4-24에는 사용자비용 산출을 위하여 교통량 통계연보(국토해양부, 2008)를 토대로 일일교통량을 정리하였다.

표 4-24 일일평균교통량

구분	승용차	버스	소형화물차	중형화물차	대형화물차
교통량(대/일)	7,440	311	2,664	561	170

2) 시간지연비용

시간지연비용은 교량의 시설물 교체시 교통혼잡으로 인한 지체시간을 화폐가치로 환산시킨 것이다. 시간지연비용은 통행자의 임금수준, 교통수단 등에 따라 평가하는 여객시간가치와 화물의 품목에 따른 시간가치를 평가하는 화물시간가치로 구분할 수 있는데, 본 논문에서는 여객시간가치에 대해 자료가 부족하고, 화물시간가치에 비해 매우 작은 값을 나타내기 때문에 여객시간가치는 고려하지 않았다.

화물비용은 화물차량에 대해서만 발생하므로 승용차나 버스와 같은 차종인 경우에는 적재중량이 0이고 화물차에 대해서는 표 4-25와 같이 정리하였다.

표 4-25 국내 차종별 평균 중량과 평균 적재중량

	차종별	평균차량중량(kg)	평균적재중량(kg)
1종	승용차, 소형승용차	1,303	0
2종	중형버스	2,055	0
3종	대형버스	10,887	0
4종	소형트럭A	1,683	1,356
5종	소형트럭B	4,334	4,875
6종	중형트럭C	11,016	14,402
7종	중형트럭D	10,895	11,847
8종	중형트럭E	14,014	20,646
9종	대형트럭F	-	-
10종	대형트럭G	8,728	16,722
11종	대형트럭H	-	-

시간지연비용은 화물중량의 함수이며, 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{시간비용}_i = \text{일평균교통량}_i \times \text{평균화물비용} \times \text{평균운행시간}_i \\ \times \sum_{j=\text{차종}} \text{평균적재중량}_j \times \text{차종별구성비}_j$$

여기서, 시간비용_i = 원인 i에 의해 발생한 일일 시간비용(원/일)

일평균교통량_i = 원인 i에 의해 발생한 일일 평균 교통량(대/일)

평균화물비용 = 8,108(원/hr · ton)

평균운행시간_i = 원인 i에 의해 발생한 일일 평균운행시간(hr/대)

평균적재 중량_j = 차종 j의 평균적재중량(ton)

원인에 의한 운행거리와 평균운행속도가 주어진다면 평균운행시간은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{운행시간}(hr/\text{대}) = \frac{\text{운행거리}(km/\text{대})}{\text{평균운행속도}(km/hr)}$$

차종별 구성비는 일반국도를 통과하는 차종별 구성비의 평균으로 산정하였으며, 그 구성비를 표 4-26에 나타내었다.



표 4-26 일반국도를 통과하는 차종별 평균 구성비

(단위:%)

구분	승용차	버스		소형트럭		중형트럭			대형트럭			합계
		중형	대형	A	B	C	D	E	F	G	H	
	1종	2종	3종	4종	5종	6종	7종	8종	9종	10종	11종	
구성비	66.28	0.49	3.60	19.50	4.49	1.95	1.25	1.50	0.02	0.90	0.03	100.0

따라서 1일동안의 사용자 비용의 산출은 표 4-27과 같이 나타내었다. 교통혼잡에 의해 차량운행속도가 감소되더라도 2거더의 경우와 같이 우회하는 경우보다 1일사용자비용은 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 1km를 우회할 경우의 속도와 교량을 통과할 때의 교통혼잡 속도의 연료소비량은 거의 비슷하나, 1km를 우회함으로써 발생하는 시간지연비용에서 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다.

표 4-27 일평균 사용자비용

항목	2거더	3거더	4거더
일평균사용자비용(원/일)	3,584,708	1,219,927	1,219,927
m ² 당비용(원/일 · m ²)	1975	672	672

시간지연비용의 산정을 위해서는 교량 시설물 교체시 소요되는 기간을 산정해야하는데, 본 논문에서는 시설안전기술공단(2000)의 연구를 토대로 표 4-28과 같이 선정하였다. 사용자비용은 교량의 시설물 교체시에만 시행한다고 가정하였기 때문에 교체가 발생하는 강교도장, 교량받침, 신축이음장치에 대하여 나타내었다.

표 4-28 시설물의 교체소요기간

점검부위	평균소요기간(일)		
	보수	보강	교체
강교도장	82	-	-
교량받침	37	27	55
신축이음장치	46	85	48

4.4.3 해체·폐기비 및 잔존가치

본 논문에서 교량의 공용년한을 80년으로 가정하였으며, 수명이 다한 교량의 해체·폐기비용과 잔존가치로 구분되며, 교량형식별 해체·폐기비용과 잔존가치의 비용을 표 4-29에 나타내었다. 대상교량의 경우 지간이 55m이므로 지간 50m에 대한 대상교량의 지간비율을 적용하여 대상교량의 해체·폐기비용과 잔존가치를 산정하였으며, 표 4-30과 같이 나타내었다. 여기서 해체비용 및 폐기비용은 제압비와 부가가치세를 포함한 비용이며, 잔존가치는 교량폐기물 가운데 철근과 강재의 재활용이익이기 때문에 LCC예측시 잔존가치만큼 감소시켜줘야 한다.

표 4-29 교량의 지간별 해체·폐기비용 및 잔존가치

(단위:천원)

교량형식	지간	해체비용	폐기비용	잔존가치
ST. Plate	L=50m	86,733	6,156	276,971
	L=65m	112,753	8,003	360,062
	L=85m	147,446	10,466	470,850

표 4-30 지간 55m 일때의 해체·폐기비용 및 잔존가치

지간	단위	해체비용	폐기비용	잔존가치
55m	천원	95,406	6,772	304,668
	천원/m ²	52	4	168

4.5 LCC 평가

본 논문에서는 LCC구성항목을 초기투자비, 유지관리비, 해체·폐기비로 구성하였으며, 폭원이 11m, 연장이 165m인 소수거더교의 LCC를 거더개수별로 예측하여 분석하고자 한다. 총 분석기간은 교량의 공용년수와 동일하게 80년으로 하였으며, 분석기간 중 유지관리는 현행유지관리수준으로 하였다. 교량의 시설물 교체시에 사용자 비용이 발생한다고 가정하였으며, 시설물 보수시기는 교체시기부터 주기적으로 행해진다고 가정하였다. 초기투자비, 유지관리비, 해체·폐기비를 통한 LCC 예측결과의 구성항목별 비율을 바닥판 제작방법에 따라 표 4-31과 표 4-32와 같이 나타내었다. 현장타설 바닥판의 경우, 불변비용으로 2거더는 5,009천원/m², 3거더는 4,787천원/m², 4거더는 5,073천원/m²으로 예측되었으며, 할인비용의 경우도 각각 3,276천원/m², 3,402천원/m², 3,670천원/m²으로 예측되었다. 프리캐스트 바닥판의 경우, 불변비용으로 2거더는 4,652천원/m², 3거더는 4,407천원/m², 4거더는 4,663천원/m²으로 예측되었으며, 할인비용의 경우도 각각 2,969천원/m², 3,068천원/m², 3,308천원/m²으로 예측되었다. 구성항목비용 중 시공비가 현장타설 바닥판 교량의 불변비용에서 평균 48%, 할인비용에서 평균 70%로 가장 높은 비율을 차지하였으며, 프리캐스트 바닥판 교량의 불변비용에서 평균 48%, 할인비용에서 평균 70%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 여기서 LCC 예측시 비중이 가장 높은 시공비가 중요한 항목이라는 것을 알 수 있다.

표 4-31 현장타설 바닥판교량의 LCC 구성비율

(단위:%)

구성항목		불변비용 구성비			할인비용 구성비		
		2거더	3거더	4거더	2거더	3거더	4거더
초기투자	설계비	44.4	52.0	53.9	67.9	73.2	74.6
	시공비	2.7	3.2	3.3	4.1	4.5	4.5
유지관리	일반관리비	1.6	1.7	1.6	0.9	0.9	0.8
	점검 및 진단비	30.6	32.0	30.2	16.5	15.9	14.8
	유지보수비	4.4	5.1	5.3	2.0	2.2	2.2
	사용자비	18.6	8.4	7.9	8.8	3.7	3.4
해체·폐기	해체·폐기비	1.1	1.2	1.1	0.2	0.2	0.1
	잔존가치비	-3.4	-3.5	-3.3	-0.5	-0.5	-0.4
LCC 예측	천원	9,091,580	8,688,720	9,207,328	5,945,882	6,174,633	6,661,478
	천원/m ²	5,009	4,787	5,073	3,276	3,402	3,670

표 4-32 프리캐스트 바닥판 교량의 LCC 구성비율

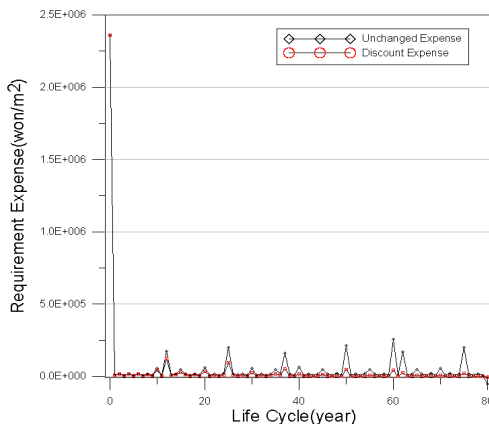
(단위:%)

구성항목		불변비용 구성비			할인비용 구성비		
		2거더	3거더	4거더	2거더	3거더	4거더
초기투자	설계비	42.1	49.8	51.8	66.0	71.6	73.1
	시공비	4.0	3.0	3.2	4.0	4.4	4.4
유지관리	일반관리비	1.7	1.8	1.7	1.0	1.0	0.9
	점검 및 진단비	32.9	34.7	32.8	18.2	17.6	16.4
	유지보수비	3.1	4.0	4.3	1.4	1.7	1.8
	사용자비	20.1	9.1	8.6	9.7	4.1	3.8
해체·폐기	해체·폐기비	1.2	1.3	1.2	0.2	0.2	0.2
	잔존가치비	-3.6	-3.8	-3.6	-0.5	-0.5	-0.5
LCC예측	천원	8,443,908	7,998,842	8,436,607	5,389,443	5,568,568	6,004,517
	천원/m ²	4,652	4,407	4,663	2,969	3,068	3,308

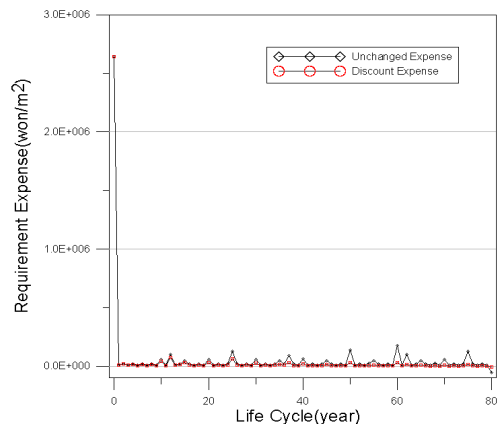
본 논문에서 예측한 LCC를 분석기간 동안 연간 분포를 보면 그림 4-6과 같다. 분석이 시작되는 시점에서는 할인이 적용되지 않기 때문에 불변비용과 할인비용이 동일하며, 분석기간을 교량의 공용수명과 동일한 80년으로 가정하였기 때문에 교량의 유지관리비에 따라 비용의 차이가 발생하는 것으로 판단된다.

표 4-4에 나타난 교량의 공용수명 80년에는 소요비용이 (-)값이 나타나는데, 이것은 교량의 해체·폐기 이후 시설물의 재활용에 대한 이익이므로 전체 LCC예측에서는 이 비용을 빼고 예측하여야 한다.

유지관리비용 중 2거더, 3거더 및 4거더의 시설물 교체시 사용자비용을 고려하였는데, 실제 사용자비용은 시설물의 교체기간 외에도 보수·보강기간에도 발생할 수 있다. 따라서 우회거리와 교통 지체시간이 본 논문에서 가정한 값보다 더 커질 수 있기 때문에 LCC예측에서 사용자 비용의 비중이 높아질 수 있다

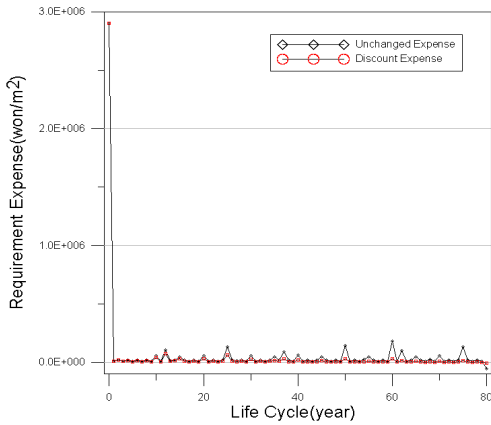


(a) 2거더(현장타설)

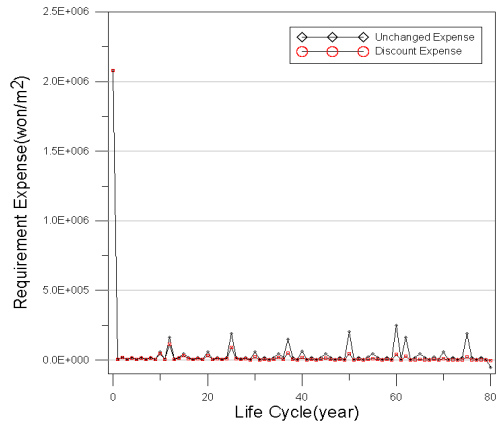


(b) 3거더(현장타설)

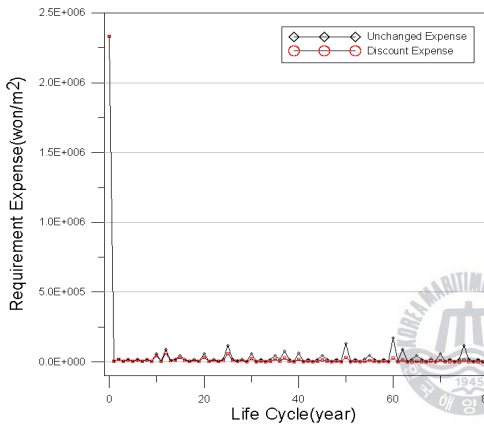
그림 4-6 분석기간 동안 비용의 연간분포(계속)



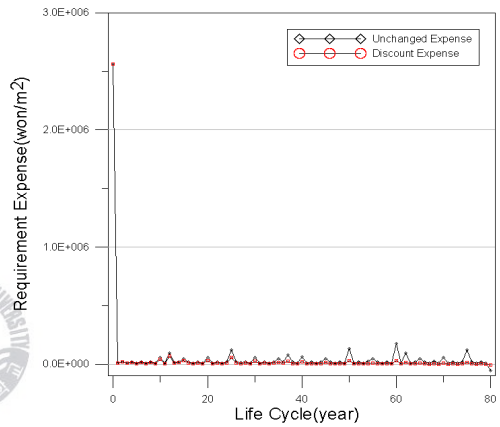
(e) 4거더(현장타설)



(d) 2거더(프리캐스트)



(e) 3거더(프리캐스트)



(f) 4거더 (프리캐스트)

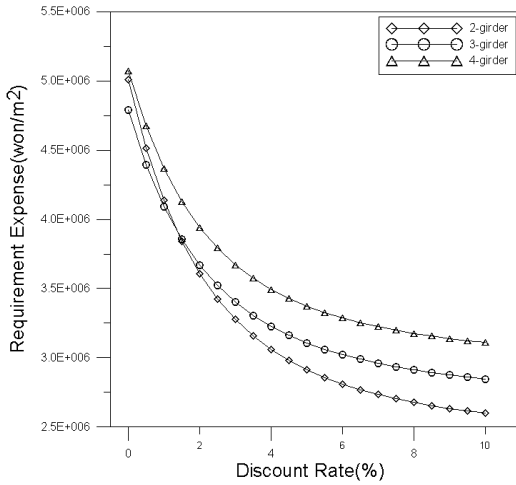
그림 4-6 분석기간 동안 비용의 연간분포

4.6 민감도 분석

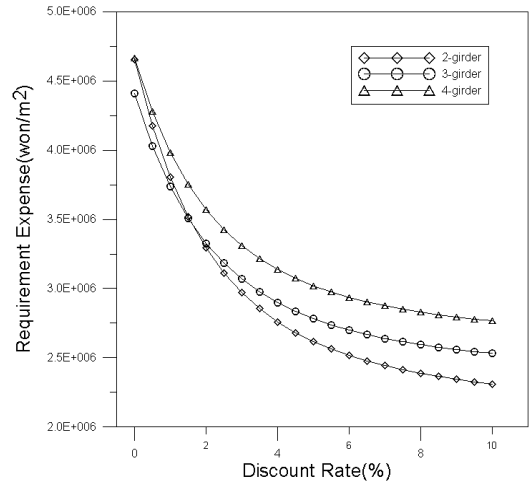
4.6.1 실질할인율에 따른 민감도 분석

LCC분석에 있어 고려되는 각 항목의 비용은 시간에 따라 다양한 변화를 나타내며, 할인율은 교량의 공용수명 동안의 LCC를 예측함에 있어 시간의 변화에 따른 비용의 변화에 상당히 큰 영향을 미치는 요소이다. 할인율은 물가변동 및 이자율을 고려하여 산정하는데, 미래의 할인율을 정확하게 산정하는 것은 거의 불가능하다고 볼 수 있다. 합리적인 할인율에 따른 LCC 예측은 시설물 투자사업에서 의사결정에 정보를 제공할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 교량의 분석기간 80년 동안의 LCC의 실질할인율을 0%에서부터 10%까지 0.5%씩 변화시키면서 할인율에 따른 LCC의 변화를 예측하였다.

할인율에 따른 거더개수별 LCC 변화 예측을 표 4-33 및 그림 4-7에 나타내었다.



(a) 현장타설 바닥판 교량



(b) 프리캐스트 바닥판 교량

그림 4-7 실질할인율에 따른 LCC 변화 예측

표 4-33 할인율에 따른 LCC 변화 예측

(단위: 원/m²)

할인율 (%)	현장타설바닥판 교량			프리캐스트 바닥판 교량		
	2거더	3거더	4거더	2거더	3거더	4거더
0	5,009,951	4,788,087	5,073,911	4,653,009	4,407,881	4,664,030
0.5	4,516,739	4,396,246	4,676,985	4,174,299	4,029,351	4,280,861
1.0	4,136,547	4,093,198	4,370,059	3,805,193	3,736,484	3,984,465
1.5	3,840,767	3,856,657	4,130,536	3,517,973	3,507,807	3,753,084
2.0	3,608,474	3,670,279	3,941,845	3,292,355	3,327,565	3,570,750
2.5	3,424,275	3,522,011	3,791,766	3,113,415	3,184,133	3,425,688
3.0	3,276,784	3,402,915	3,671,239	2,970,108	3,068,887	3,309,160
3.5	3,157,525	3,306,319	3,573,502	2,854,214	2,975,390	3,214,611
4.0	3,060,151	3,227,218	3,493,481	2,759,574	2,898,806	3,137,245
4.5	2,979,882	3,161,826	3,427,342	2,681,547	2,835,481	3,073,260
5.0	2,913,089	3,107,268	3,372,170	2,616,612	2,782,637	3,019,876
5.5	2,857,003	3,061,341	3,325,734	2,562,080	2,738,144	2,974,938
6.0	2,809,495	3,022,347	3,286,314	2,515,884	2,700,360	2,936,784
6.5	2,768,916	2,988,968	3,252,575	2,476,422	2,668,012	2,904,125
7.0	2,733,981	2,960,173	3,223,475	2,442,445	2,640,102	2,875,951
7.5	2,703,681	2,935,151	3,198,191	2,412,972	2,615,846	2,851,470
8.0	2,677,215	2,913,259	3,176,072	2,387,229	2,594,621	2,830,051
8.5	2,653,949	2,893,983	3,156,598	2,364,595	2,575,929	2,811,191
9.0	2,633,372	2,876,909	3,139,351	2,344,575	2,559,371	2,794,486
9.5	2,615,069	2,861,703	3,123,991	2,326,767	2,544,622	2,779,607
1.0	2,598,706	2,848,090	3,110,243	2,310,844	2,531,417	2,766,288

전체적으로 할인율이 증가함에 따라 LCC가 감소하며, 할인율이 약 2%보다 낮으면, 3거더의 LCC가 가장 작게 나타났으며, 할인율이 약 2%보다 클 때는 2거더의 LCC가 가장 낮은 것으로 나타났다. 민감도 분석에 의한 결과를 따르면, 할인율이 2%보다 낮을 때는 3거더를, 2%보다 클 때는 2거더의 교량에 경제적이라고 할 수 있다.

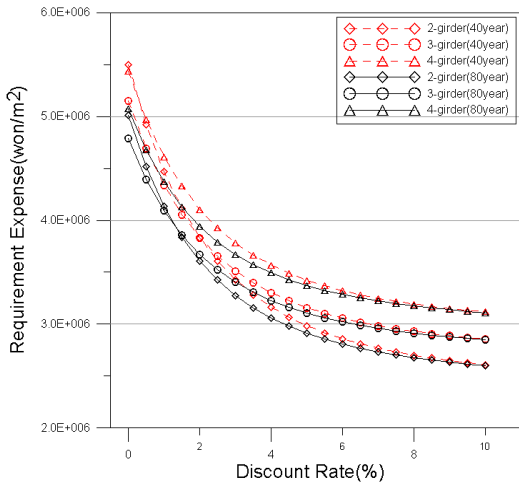
할인율이 3% 이상으로 갈수록 거더개수에 따른 LCC의 차이가 커지고 있으므로, LCC예측시 할인율의 고려가 중요하다고 판단된다.

4.6.2 바닥판 수명과 할인율에 따른 민감도 분석

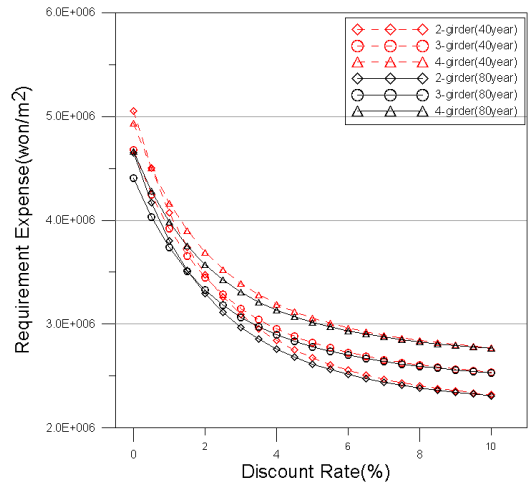
본 논문에서는 바닥판 수명을 교량의 공용수명과 동일하다고 가정하여 LCC를 예측하였다. 따라서 바닥판 수명에 따른 LCC의 변화를 예측하기 위하여 바닥판 수명을 40년에서 LCC분석기간인 80년까지 10년씩 증가시키면서 LCC 변화를 예측하였다. 그림 4-8은 바닥판 수명과 할인율에 따른 LCC변화 예측 결과를 나타내었다.

수명에 따른 LCC 예측결과를 비교한 결과 LCC 최대값은 바닥판 수명이 40년일 때이며, 최소값은 바닥판 수명이 80년일 때인 것으로 나타났다. 이것은 바닥판 수명이 짧을수록 바닥판의 교체주기가 많아지며 거기에 따른 사용자비용도 같이 증가를 하기 때문이다. 따라서 그림 4-8과 같이 바닥판 수명이 80년일 때와 40년일 때의 두가지 경우일 때만 비교하였다.

바닥판 수명이 80년일 경우는 약 2%에서, 40년일 경우는 약 3%에서 2거더와 3거더의 LCC가 교차하는 것으로 알 수 있다. 이는 바닥판 수명이 40년일 때보다 80년일 때가 경제적이며, 바닥판 수명이 80년일 때 2%이하의 할인율에서는 3거더가 경제적이고, 2%이상의 할인율에서는 2거더교가 경제적인 것을 알 수 있다. 할인율이 6%이상에서는 곡선이 완만해지면서 각 거더의 LCC에 수렴하고 있으며, 이것은 할인율이 6%이상일 때는 바닥판수명에 따른 각 거더에 대한 LCC가 비슷하므로 바닥판 수명 40년에서 80년까지 어떠한 것을 적용하더라도 경제적인 측면에 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.



(a) 현장타설 바닥판 교량



(b) 프리캐스트 바닥판 교량

그림 4-8 바닥판 수명과 할인율에 따른 LCC



5장. 결론

건설공사에서 공사 단계별 합리적인 공사비를 산정하는 것은 예산의 효율적인 집행에 있어 중요한 요소이다. 일반적으로 설계단계에서의 공사비 산출은 대상구조물의 설계도가 완성된 후, 대상공사에 대한 수량 산출 및 이에 따른 단가를 산정하고 집계하여 산출한다. 따라서 설계단계에서의 공사비 산출은 많은 시간과 비용이 소요된다. 또한 구조물의 초기공사비 뿐만 아니라 유지관리비용, 해체·폐기비용 등 구조물의 수명 동안의 소요되는 모든 비용의 산출은 구조물의 건설과 유지에 대하여 경제적이고 합리적인 의사결정을 위한 정보를 제공할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 2거더교의 공사비를 분석하여 대표공종을 산정하고 기 설계된 2거더의 자료를 기초로 2거더 및 3거더와 4거더의 대표단면을 제안하였으며, 소수거더교의 LCC를 예측하여 거더개수에 대한 경제성 평가를 실시하였다.

5.1 결론

이상의 연구과정에 의하여 도출된 결론은 다음과 같다.

(1) 소수거더교 공사비의 주요한 항목인 강교제작, 강교가설, 강교운반 등을 대상교량의 수량 및 공사비 분석을 통해 바닥판 제작 방법에 따른 공사내역을 회귀식 및 단위물량을 통해 대표공종을 제안하여 각 교량의 상부공사비를 추정했다.

(2) 추정한 공사비와 실제공사비의 검증을 실시한 결과 현장타설 바닥판 교량의 경우 평균 오차율이 약 -5%~4%이며, 프리캐스트 바닥판 교량의 경우 오차율이 약 -7%~10%로 나타났으며, 이것은 미국비용공학회(AACE)의 기준과 비교 했을 때 제안된 대표공종에 의한 공사비 산출은 매우 정확한 것으로 나타났다.

(3) 기 설계된 2거더 교량들의 평균단면으로 구조해석을 수행하여 나타난 단면력을 활용하여 2거더, 3거더 및 4거더의 대표단면을 제안하였으며, 대표공종을 활용하여 각 거더개수에 대한 공사비를 산정하여 LCC 항목인 초기공사비의 자료를 제시하였다.

(5) LCC 예측결과 실질할인율이 3%일때, 현장타설 바닥판 교량의 경우 2거더는 3,277천원/m², 3거더는 3,403천원/m², 4거더는 3,671천원/m²으로 나타났으며, 프리캐스트 바닥판의 경우 2거더는 2,970천원/m², 3거더는 3,069천원/m², 4거더는 3,309천원/m²으로 나타났다.

(6) 실질할인율에 대한 민감도 분석의 결과 할인율이 약 2%이하일때는 3거더교가, 약 2%이상일때는 2거더교가 경제적인 것으로 나타났으며, 할인율이 증가하면서 LCC는 감소하나 거더개수간 LCC 차이는 할인율 2%부터 커지고 있으므로 LCC의 예측시 할인율은 고려되어 저야 한다.

(7) 바닥판 수명과 실질할인율에 따른 민감도 분석의 결과 바닥판의 수명이 40년일 때는 바닥판 교체로 인한 교체비와 사용자비용이 포함되므로 바닥판 수명이 80년일 때 보다 LCC가 크게 나왔으며, 할인율이 6%이상일 때는 할인율이 증가할 때마다 바닥판 수명에 따른 LCC가 차이가 거의 없으므로 할인율이 6%이상일 때는 바닥판 수명이 LCC예측에 큰 영향을 미치지 못한다.

5.2 향후 과제

(1) 소수거더교 단면제안

본 논문에서는 대상교량들의 평균단면으로 구조해석을 수행하여 나타난 단면력을 활용하여 2거더와 3거더 및 4거더의 대표 단면을 제안하였다. 교량의 단면은 교량 전체에 걸쳐 같은 값을 가지는 것이 아니라, 여러 가지 조건등을 고려하여 각 구역에 맞는 단면으로 설정하기 때문에 다른값을 취한다. 그러나 본 논문에서는 플랜지 두께는 변화 없고 오로지 플랜지 폭과 거더높이를 변화 시켜 일반부, 지점부의 두 단면을 제안하였다. 따라서 향후 연구에서는 대상교량의 단면이 변화하는 각 구간의 단면과 모멘트를 분석하여 단면의 변화를 나타내어 소수거더교의 단면을 제안하는 것이 더 신뢰성이 높고 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 유지관리수준

본 논문에서는 현행유지관리수준의 적용비율을 활용하여 LCC를 예측하였다. 이는 현 실태의 유지관리수준으로 보다 적절하게 관리하고 문제를 미연에 방지하기 위한 유지관리가 필요하게 된다. 따라서 필요유지관리수준을 적용한 LCC를 예측하여 현행 LCC와 필요 LCC의 차액을 산정하여 거더개수당 손실비용을 산출할 수 있으므로 교량시공시 비용절감을 위한 의사결정시 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

(3) LCC 예측

본 논문은 LCC 예측시 문헌연구, 자료조사 등을 실시하였으며, LCC 항목의 비용들을 각 자료 및 문헌을 활용하여 산출하였다. 대부분의 문헌들이 오래전 연구된 결과이기 때문에 현재 실정과 안맞는 부분이 있으므로 전문가의 조언 및 설문조사를 통해 실제에 가까운 교량의 LCC 예측이 이루어져야 한다고 판단된다.

참고문헌

저 서

- 건설교통부(2006), 강도로교 상세부설계지침
건설교통부(2005), 교량현황조사
건설교통부(2008), 교량현황조사
건설연구사(2005), 건설표준품셈
국토해양부 건설관리처 VE팀(2008), 제경비 산정기준
국토해양부(2008), 안전점검 및 정밀안전 진단 대가(비용산전)기준
곽수정, 백종명, 안형준, 김용철 공저(2008), 토목구조물 유지관리공학
기획재정부(2008), 현행 회계예규 전문
대한토목학회(2008), 도로교설계기준·해설
박홍태(2006), 건설공사를 위한 계약 및 적산, 구미서관
변동균, 신현목, 문계길 공저(2007), 철근콘크리트, 동명사
신현목(2004), 프리스트레스트 콘크리트, 동명사
오제택(2005), 교량계획과 설계, 반석기술
이승언(2008), 토목시공학, 구미서관
조효남(1999), 교량공학, 구미서관
조효남, 김정호, 정지승, 민대홍, 박미연, 이종순 공저(2008), 구조최적설계, 구미서관
지식경제부(2008), 엔지니어링 사업대가의 기준
한국개발연구원(2004), 도로·철도 부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)
한국건설기술연구원(2009), 건설공사 표준품셈
한국시설안전기술공단(2004), 정밀안전진단 기술자과정 교육교재
황인창, 이대용, 이청호 공저(2006), 알기쉬운 통계학, 비앤엠북스

학술지 및 학술회의 게재논문

- 경갑수, 강지윤, 정경섭, 김경주(2004 b), 강교량 품셈 공수 산정 비교 연구, 대한토목학회 논문집, 제24권 제6D호, pp. 919~927
박혜연, 경갑수, 선창원, 강신화, 권순철(2007 a), 강교량 공사비 통계자료에 기초한 영향변수 분석, 한국강구조학회학술발표논문집, pp. 930~935
박혜연, 경갑수, 권순철, 강신화(2007 b), 강교량 공사비 예정가격 및 실행가격에 관한 분석연구, 2007 대한토목학회학술발표대회, pp. 3108~3111

- 선창원, 경갑수, 강신화, 권순철(2009), 강박스교량 공사비 특성 분석, 한국강구조학회 논문집, 제21권, 제1호
- 선창원, 이종엽, 강신화, 경갑수(2008), 설계단계에서의 강교량 공사비 산정 방법 및 타당성 검증, 한국강구조학회 학술대회논문집, 제25권, 제4D호, pp.25~28
- 안장원, 차강석, 김용수(2001), Steel Box교와 PSC Boxry의 LCC 분석에 관한 연구, 한국건설관리학회논문집, 한국건설관리학회, 제2권 2호, pp59~67
- 이의섭, 최민수(2000), 건설구조물의 체계적인 LCC 분석, 월간토목, 대한토목학회, 제 48권 1호, pp35~42
- Cao L.C, Shing P.B(1999), Simplified analysis method for slab-on-girder highways bridge deck, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.125, No.STI, pp49~59
- Chang, D.I, and Lee, H.H(1994), Impact Factors for Simple Span Highway Girder Bridges, ASCE J. Structural Engineering, Vol. 120, No. 3, pp. 704~712
- Eiki Yamaguchi, Satoru Yamamoto, Jun Murakoshi, Minoru Takahashi, Kenji Yamashita(2006), A Study of design analysis for steel four-I-girder bridge, JSSC, Steel Construction Engineering, Vol. 52A, pp. 893~900
- Frangopol D.M, M.Gosn, G. Hearn, A. Nowak(1998), Structural Reliability in Bridge Engineering : Guest Editorial, ASCE Journal of Bridge Engineering, Vol. 3, No.4



학위논문

- 고주상(2005), 장경간교량의 건설사업에 있어서 LCC분석기법을 이용한 경제성 검토에 관한 연구(50~85m 정도 경간의 P.S.C Box, ST.Plate Deck Bridge Type의 교량을 중심으로), 석사학위논문, 중앙대학교
- 권순철(2008), 2거더교의 합리적 구조상세 제안과 적용에 따른 경제성 및 경관에 관한 연구, 박사학위논문, 한국해양대학교
- 김교훈(2008), 고성능 강바닥판 구조상세 제안에 관한 연구, 석사학위논문, 한국해양대학교
- 김상범(2001), RC Slab 교량의 Life Cycle Cost 분석에 관한 연구, 석사학위논문, 중앙대학교
- 박경훈(2006), , 석사학위논문, 서울산업대학교
- 박현희(2004), 적정 유지관리 수준의 결정을 위한 LCC분석, 석사학위논문, 인하대학교
- 박홍길(2004), LCC 기법을 이용한 구조물 유지관리 극대화 연구, 석사학위논문, 서울산업대학교
- 안장원(2001), Life Cycle Cost 기법을 이용한 교량의 경제성 분석(PSCI, STB, PSCB 교량을 중심으로 한 사례연구), 석사학위논문, 중앙대학교
- 양원열(2005), VE/LCC를 이용한 교량 구조물의 경제성 평가 사례연구, 석사학위논문, 전남대학

교

- 오영인(1992), Life Cycle Cost 기법을 이용한 공동주택의 경제성 분석에 관한 연구, 석사학위 논문, 서울시립대학원 산업대학원
- 유승일(2000), LCC 기법을 이용한 고층아파트 건물의 총 소요비용 예측 및 손실비용 추정에 관한 연구, 석사학위논문, 중앙대학교
- 장사연(2005), 강콘크리트 합성거더교의 VE/LCC 분석을 통한 적용성 고찰, 석사학위논문, 서울 산업대학교
- 차강석(2000), LIFE CYCLE COST기법을 이용하는 교량 상부구조의 형식에 따른 경제성 분석에 관한 사례연구, 석사학위논문, 중앙대학교
- 최길대(2001), 수명주기비용분석기법을 적용한 교량유지관리 방안에 관한 연구, 박사학위논문, 중앙대학교
- 최태희(2001), LCC기법을 이용한 PSCI형 교량의 경제성분석에 관한 사례연구, 석사학위논문, 중앙대학교

보고서

- 경기도(2004), I교 구조계산서, D이엔씨
- 교통연구개발원(1992), 교통혼잡비용 예측 연구
- 대한건설협회(2007), 2007 상반기 적용 건설업 임금실태 보고서
- 통계청(2009), 한국의 주요경제지표
- 포항산업과학연구원(2003), 설계·제작·가설·유지관리에의 합리화 시스템을 도입한 강교량 개발에 관한 연구
- 포항산업과학연구원(2001), 경쟁력 향상 도로용 소수거더 판형교
- 포항산업과학연구원(1998), 판형교 설계요령
- 한국강구조학회, 포항산업과학연구원(2004), 고성능 강교량 Q&A집
- 현대건설기술연구소(1999), 인천국제공항고속도로 민자유치 시설사업 도로 제4공구 수직보강제 단부 피로성능 평가보고서
- 한국기술연구원(1999), 1998 교량관리체계(BMS) 개선에 관한 연구
- 한국교통연구원(2007), 2005년 전국 교통혼잡비용 산출과 추이 분석
- 한국도로공사(2000), H교 구조계산서, S기술단
- 한국도로공사 도로교통기술원(2005), 교량 예방적 유지관리 방안 연구
- 한국시설안전기술공단(2000), 도로교의 공용수명 연장방안 연구
- 한국시설안전기술공단(2001), LCC 개념을 도입한 시설안전관리체계 선진화 방안 연구
- 한국은행(2009), 경제통계연보
- OECD(1983), Bridge rehabilitation are strengthening

감사의 글

한국해양대학교에 들어온지 벌써 7년이라는 시간이 흘렀습니다. 이제 학교를 떠나야 한다고 생각하니 감회가 새롭습니다. 대학원 생활동안 많은 가르침과 충고를 아끼지 않으셨던 지도교수님 경갑수 교수님께 깊은 감사의 말씀 드립니다.

그리고 항상 저에게 자극이 되는 말씀을 해주신 김도삼 교수님께 감사드리며, 항상 연구에 도움을 주신 이희현 박사님과 전준창 박사님께도 감사의 말씀 드립니다. 학부 과정부터 지금까지 저를 가르쳐 주신 김태곤 교수님, 이중우 교수님, 김태형 교수님께도 큰 감사의 말씀 드립니다.

기쁠때나 슬플때 항상 옆에서 축하해주고 위로해주던 소중한 제 친구 지영이, 민애, 민지, 이면이, 인혁이, 승호, 진우, 지훈이에게도 고마움을 전하며, 항상 제 애길 귀담아 들어주며 따끔한 충고도 해준 은아에게 고마움을 전합니다.

연구실 생활을 하면서 항상 가르쳐 주고 도움을 주신 순철이 오빠에게 감사드리며, 짧은 한학기였지만 많은 걸 가르쳐 준 진은이 오빠, 나보다 어리지만 속이 참 깊은 은경이, 대꾸없이 도와준 동기 성진이, 재미있는 아이 종엽이, 스트레스 풀어주던 효상이에게도 고마움을 전합니다. 바쁜 직장생활에도 박사과정을 이겨내시는 준호오빠, 쓸데없이 전화해도 웃으며 받아주며 도와준 경숙이 언니, 지금은 각자의 길을 가고 있는 진우오빠, 영직이오빠, 지윤이 언니, 동호오빠에게도 감사의 말씀 드립니다.

지금은 연락을 자주 하지 못하지만 학부때 항상 붙어다녔던 변찬식씨, 종진씨. 동대오빠에게도 감사의 말씀 드리며, 뒤늦게 친해졌지만 항상 격려해준 동변상런 동건이오빠에게도 감사의 말씀 전합니다.

비록 전공은 다르지만 대학원 생활을 같이한 동기 유나, 영준이, 진호, 선욱이, 상길 이, 응기오빠, 중호오빠, 현석이오빠, 기대오빠, 필성이오빠, 진우에게도 고마움을 전하며, 매일 밤 집에가는 길에 친구해주던 버스친구들 영진이, 태풍이, 규광이, 격려의 말로 용기있게 해준 명호, 수영다니며 친해진 민철이에게도 고마움을 전합니다.

지금 제가 있기까지 저를 이끌어주시고 언제나 버팀목이 되어주시고 항상 제게 힘이 되어 주셨던 아버지, 어머니께 감사드립니다. 그리고 언니 역할을 제대로 하지 못해 미안한 동생 혜선이에게도 고마움을 전하며, 항상 우리 가족을 걱정해주시는 할아버지, 할머니께도 감사의 말씀 전합니다.

7년간 항상 옆에서 응원해주고 격려해주며 지켜준 진원이 오빠에게도 고마움을 전합니다.

끝으로 다시한번 제게 관심과 격려로 힘을 주신분들에게 고개숙여 감사의 말씀을 드립니다.

2009년 6월 25일

박 해 연 올림