

工學碩士 學位論文

負反力에 의한 曲線 鋼橋梁 받침부
舉動에 관한 研究

A Study on the Behavior of Bearings
in Curved Steel Bridges by Uplift

指導教授 慶 甲 秀

2005 年 2 月

韓國海洋大學交 大學院

土木環境工學科

潘 泳 直

本 論 文 을 潘 泳 直 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 工 學 博 士 李 重 雨

委 員 工 學 博 士 金 泰 亨

委 員 工 學 博 士 慶 甲 秀

2005年 1月

韓 國 海 洋 大 學 交 大 學 院

土 木 環 境 工 學 科

潘 泳 直

A Study on the Behavior of Bearings in Curved Steel Bridges by Uplift

by

Young-Jik Bahn

Department of Civil & Environment Engineering
Graduate School Korea Maritime University

ABSTRACT

In this paper, the status of curved steel bridges in highways and national roads was investigated to examine the factors which have influence on the behavior of bearing of the bridge. To do this, bearing type and geometric properties of curved bridges such as span, radius of curvature, cross slope were investigated. Also, the design specifications to uplift of the bridge on countries worldwide were provided and compared. Bearing damage developed by uplift in internal and external design specifications was investigated and thus it was proposed the direction of researches about bearing in future.

Due to the structural property of the curved bridges, torsional moments are easily developed and thus uplift is occurred in some cases. This uplift was evaluated and the structural analysis was carried out about unequal uplift developed at anchor bolts of the bearing. The safety factor that is able to be applied to a bearing

design was presented. Structural analysis was conducted to find out the effect of the initial gap between bearings on the behavior of bearing.

In this study, since input data about distance between bearings that able to evaluate uplift of the curved bridges were not provided, an additional investigation is required to maintenance of curved bridges. When bearing is designed, the safety factor for unequal uplift which may develop at anchor bolts of the bearing should apply in the range between 2 and 3. As all conditions of initial gap is given, uplift developed at anchor bolts of the bearing tends to equalize and to be small.

부반력에 의한 곡선 강교량 받침부 거동에 관한 연구

반 영 직

한국해양대학교 대학원
토목환경공학과

요 약

곡선 강교량의 구조적 특성과 부반력의 관계를 파악하기 위하여 국내 고속도로와 국도의 교량 및 일본의 곡선 상자 강교량 실적을 조사하고 기하학적 특성을 분석하였다. 또한 곡선교 설계에 있어서 원심력과 부반력의 영향은 중요한 설계 요소의 하나이므로 각국의 원심하중과 부반력에 관한 설계기준을 조사하였다.

곡선교량은 그 구조적 특성으로 말미암아 비틀림의 발생이 쉬우며, 이로 인해 부반력이 종종 발생하는 교량이다. 이러한 부반력을 정확하게 평가하고 받침 내의 앵커볼트에 발생하는 불균등력에 대해 상세한 구조해석을 수행하여 받침 설계 시 적용될 수 있는 안전율에 대해 제시하였다. 마지막으로 받침 내의 초기유격이 받침의 거동에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서 구조해석을 수행하였다.

이 연구의 결과로서 곡선교의 부반력을 간단하게 평가할 수 있는 받침 간격에 대한 입력 자료가 제공되지 않아 향후 곡선교의 유지관리를 위해서 곡선교의 기하학적인 특징인 받침간격에 대한 입력 자료를 추가적으로 구축하는 것이 필요하다. 그리고 받침 설계 시 앵커볼트에 발생하는 불균

등력은 설계자의 판단에 따라 2~3정도의 안전율을 고려하는 것이 바람직하며, 유격조건이 반력에 미치는 영향은 모든 유격조건이 부여됨에 따라 앵커볼트에 발생하는 부반력은 균등해지고 작아지는 경향이 나타났다.

목 차

ABSTRACT	i
요약	iii
표 목 차	vi
그림 목 차	vii
1장. 서론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 기존 연구 동향	2
1.3 연구내용 및 범위	3
2장. 곡선 강교량 받침부의 구조적 특성	5
2.1 곡선거더와 직선거더	5
2.2 받침설계의 기본사항	6
2.3 국내·외의 부반력 받침 구조와 상세	9
2.4 포트받침의 하중전달 경로	13
3장. 곡선교의 구조적 특성 조사 및 분석	16
3.1 국내·외의 곡선교 현황 조사	16
3.2 국내·외 설계 기준 조사	25
3.3 부반력에 의한 받침 손상사례 조사	29
4장. 곡선 강교량 받침부의 구조적 특성을 위한 구조해석	34
4.1 곡선 강교량의 반력 평가	34
4.2 부반력 받침의 상세구조 해석	48
5장. 결론	73
참고문헌	75

표 목차

표 2-1 곡선거더와 직선거더 비교	5
표 2-2 포트받침에서의 허용변위성분	10
표 3-1 고속도로의 IC 및 JC에서의 교량 분포	19
표 3-2 각 나라별 원심하중	25
표 3-3 각 나라별 부반력 산정 식	27
표 4-1 대상교량의 제원	34
표 4-2 대상교량의 재료 특성	35
표 4-3 원심하중에 의한 수평반력	37
표 4-4 각 하중에 대한 지점 연직반력	40
표 4-5 각 모델별 강재 거더 자중에 의한 연직반력	42
표 4-6 각 모델별 콘크리트 자중에 의한 연직반력	42
표 4-7 각 모델별 포장 및 방호벽에 의한 연직반력	43
표 4-8 각 모델별 전체 고정하중에 의한 연직반력	43
표 4-9 일반조건과 국가별 부반력 조건 하중조합	44
표 4-10 일반조건에 대한 연직반력	45
표 4-11 부반력 조건에 대한 연직반력	46
표 4-12 영국 교량용 고무받침 기준	54
표 4-13 수직하중 에 의한 고무판의 수직변위	55
표 4-14 회전중심축의 강성	55
표 4-15 각 받침의 이동 기능 및 초기유격 설정	58
표 4-16 대상교량의 받침 제원	61
표 4-17 점받침과 비선형 받침의 총 반력	62
표 4-18 받침의 앵커볼트에 발생하는 불균등력	64
표 4-19 받침의 유격조건	66
표 4-20 받침의 유격조건별 연직방향 부반력(앵커볼트)	67
표 4-21 받침의 유격조건별 연직방향 부반력(모르타르지지면, 받침전체)	67
표 4-22 받침의 유격조건별 교축직각방향반력(앵커볼트)	68
표 4-23 받침의 유격조건별 교축방향반력(앵커볼트)	68

그림 목차

그림 2-1 곡선거더	5
그림 2-2 직선거더	5
그림 2-3 곡선 강교량 받침의 일례	9
(a) 정반력 포트받침의 평면도	9
(b) 부반력 포트받침의 평면도	9
(c) 정반력 포트받침의 단면도	9
(d) 부반력 포트받침의 단면도	9
그림 2-4 일본의 받침구조상세 사례	11
(a) 고강도황동받침판 받침의 정면도	11
(b) 고강도황동받침판 받침의 측면도	11
(c) 밀폐고무판 받침의 정면도	11
(d) 밀폐고무판 받침의 측면도	11
그림 2-5 받침 종류별 상향력/전체반력의 비	12
그림 2-6 받침 하면에 작용하는 반력의 분포	13
그림 2-7 하향 연직하중 작용 시	14
그림 2-8 상향 연직하중 작용 시	14
그림 2-9 상향 연직하중 및 모멘트 작용 시	14
그림 3-1 대표적인 거더교 형상	16
(a) multiple-I girder	16
(b) twin-box girder	16
(c) monobox girder	16
그림 3-2 교량길이에 따른 분류	17
(a) 고속도로	17
(b) 국도	17
그림 3-3 상부구조 형식에 따른 분류	18
(a) 고속도로	18
(b) 국도	18
그림 3-4 최대스팬길이에 따른 분류	18
(a) 고속도로	18
(b) 국도	18

그림 3-5 유효폭에 따른 분류	19
(a) 고속도로	19
(b) 국도	19
그림 3-6 받침 형식에 따른 분류	20
(a) 고속도로	20
(b) 국도	20
그림 3-7 횡방향 구배에 따른 분류(고속도로)	21
그림 3-8 곡선반경에 따른 분류	21
(a) 고속도로	21
(b) 국도	21
그림 3-9 곡선반경과 횡방향 구배의 관계(고속도로)	22
그림 3-10 최대 스펠길이에 따른 분류	23
그림 3-11 유효폭에 따른 분류	23
그림 3-12 곡선반경에 따른 분류	24
그림 3-13 신동IC RAMP A-2교 낙교 전경	29
그림 3-14 신동IC RAMP A-2교량의 평면도	29
그림 3-15 내측 종점부의 소켓 매입부 파손과정	30
그림 3-15 사고 직후 내측 종점부의 소켓 매입부 파손 사진	30
(a) 통째로 인발된 소켓 매입부	30
(b) 받침 콘크리트 파괴면	30
그림 3-17 내측 시점부 앵커볼트의 파단 과정	31
그림 3-18 사고 직후 내측 시점부의 상황	31
(a) 내측 시점부의 강박스부	31
(b) 내측 시점부의 교대부	31
(c) 내측 시점부 앵커볼트의 파단 사진	31
그림 3-19 아웃트리거(Outrigger) 방식	32
그림 3-20 쏘 P27~P30 일반도	33
그림 3-21 쏘 P27 연결부 구조	33
그림 4-1 대상교량의 횡단면도	35
그림 4-2 대상교량의 평면도 및 받침 배치도	35
그림 4-3 교량의 단면 변화도	36
그림 4-4 DB24 하중의 재하도	36
그림 4-5 DL24 하중의 재하도	37
그림 4-6 원심하중의 재하 형태	37

그림 4-7 풍하중의 재하도	38
그림 4-8 모델 형상	38
(a) 합성전	38
(b) 합성후	38
그림 4-9 바닥판 콘크리트 형상	39
그림 4-10 바닥판 콘크리트 하중	39
그림 4-11 포장 및 방호벽 하중	39
그림 4-12 DB24 하중	39
그림 4-13 풍하중	39
그림 4-14 포트받침 앵커볼트의 불균등 부반력 작용	48
그림 4-15 곡선강교에서 발생하는 내측지점의 부반력	49
그림 4-16 포트받침의 유한요소 모델	51
그림 4-17 상부구조와 상부판의 연결 유한요소 모델	51
그림 4-18 상부판과 부상방지턱 유한요소 모델	52
그림 4-19 가동유도장치와 상부판 사이의 유격	52
그림 4-20 가동유도장치	52
그림 4-21 상부판과 중간판의 연결 유한요소 모델	53
그림 4-22 중간판 유한요소 모델	53
그림 4-23 중간판과 하부판 수직연결(고무판) 유한요소 모델	55
그림 4-24 중간판과 하부판 실린더 상면과의 연결 유한요소 모델	56
그림 4-25 상부판과 하부판 실린더 상면과의 연결 유한요소 모델	56
그림 4-26 날개판과 부상방지턱의 연결 유한요소 모델	57
그림 4-27 하부판과 날개판 유한요소 모델	57
그림 4-28 모르타르 지지면 유한요소 모델	58
그림 4-29 비선형 해석 절차	59
그림 4-30 경계조건 및 각 앵커볼트의 위치	60
(a) 해석모델 경계조건	60
(b) 각 앵커볼트의 위치	60
그림 4-31 대상교량의 받침 제원	61
(a) A1L 받침 제원	61
(b) A1R 받침 제원	61
(c) A2L 받침 제원	61
(d) A2R 받침 제원	61
그림 4-32 내측 교축방향가동단(A1L)지점과 고정단(A2L)지점의 연직반력 ..	62

그림 4-33 외측 전방향가동단(A1R)지점과 교축직각방향가동단(A2R)지점의 연 직반력	63
그림 4-34 앵커볼트의 연직반력 『합성후』	64
그림 4-35 포트받침의 유격성분	66
그림 4-36 유격조건에 따른 A1L지점과 A2L지점 연직반력(받침전체구조계) ·	69
그림 4-37 유격조건에 따른 연직방향 부반력(앵커볼트)	70
그림 4-38 유격조건에 따른 교축직각방향반력(받침전체구조계)	70
그림 4-39 유격조건에 따른 교축직각방향반력(앵커볼트)	71
그림 4-40 유격조건에 따른 교축방향반력(받침전체구조계)	71
그림 4-41 유격조건에 따른 교축방향반력(앵커볼트)	72

1장. 서론

1.1 연구배경 및 목적

현재 고도로 산업화된 도심지에서의 경제적, 환경적인 측면을 고려하여 교통량을 완만히 분산시키고 교통흐름을 조절하기 위한 기술자들의 요구에 부응하기 위하여 고속도로의 인터체인지와 교량의 접속 구간 등에서 곡선 강교량의 사용이 점차 증가하고 있는 추세이다. 과거에는 교량 건설에 있어 도로의 선형보다는 교량에 중점을 두어 설계되었으나, 오늘날에는 도로의 선형 중심으로 교량이 설계되면서 일반적인 직교와는 달리 구조적 거동이 복잡한 사교나, 곡선교의 사용이 증가하게 되었다. 특히 그 중에 곡선교는 램프, IC, JC, 입체교차로와 같은 스패길리와 폭의 비가 큰 곡선부 등에 사용된다. 이와 같이 곡선교량의 건설이 증가하고 있는 반면, 건설의 표준이 되는 설계규준은 국내 뿐 아니라 세계적으로도 아직 미흡한 단계에 머무르고 있다.

한편, 곡선교 중에서 단경간 곡선교는 연속 곡선교에 비해 구조시스템이 불안정한 구조이며 곡선반경 및 경간장에 따라서는 내측 지점부에 부반력이 발생하기도 한다. 이 부반력은 교량의 사용성 및 안전성에 영향을 미치기 때문에 부반력 발생 시 교량의 전도, 받침부의 뺏힘 등을 방지하기 위한 설계가 수행되어야 한다.

곡선교의 설계 가운데 부반력의 영향은 중요한 설계 요소의 하나이므로 부반력에 의한 곡선교의 받침거동을 정확하게 평가하는 것이 필요하다. 즉 받침은 거더 등과 같은 상부구조에 작용하는 하중을 교각, 교대와 같은 하부구조로 전달시키는 역할을 갖는 구조부채로서 교량의 상·하부 구조를 연결하는 중요한 구조계이다. 그러므로 받침은 상부구조의 고정하중 및 활하중 등의 연직하중, 지진이나 바람 등에 의한 수평하중을 확실하게 하부구조에 전달하여야 하며, 또 상부구조의 처짐에 의한 각 변위에 잘 추종할 수 있는 기능을 가져야 한다.

이러한 기능이 요구되는 받침은 일반적인 하중조건하에서는 일반적으로 정(+)의 반력을 받는 구조가 되나, 교량에 수평하중이나 원심하중이 작용하는 경우에는 상부구조의 형식의 기하학적 형상에 따라서는 특히 곡선교의 경우에는 부(-)의 반력을 받는 경우도 있으므로 받침 설계에서는 상부구조의 구조적 거동 특성을 파악하여 이를 고려하는 것이 중요하다. 이러한 부반력은 교량 상부

구조의 거동에 좋지 않은 영향을 미치므로 가능한 부반력을 방지하는 구조계를 택하는 것이 중요하다. 따라서 대부분의 국내·외 설계기준에서는 받침에 작용하는 부반력에 대한 기준을 규정하고 있다.

그러나, 각 설계 기준에서의 설계 방법이 국가 별로 다르며, 또 적용 하중 조합에도 차이가 있는 등 부반력 기준에서의 설계개념 차이뿐만 아니라, 곡선 강교량 자체의 거동 특성 및 곡선교 받침 거동에 대한 설계, 제작, 가설 등에서의 명확한 기준 정립의 미비, 기술자의 곡선 강교량에 대한 불충분한 이해 등이 곡선 강교량 건설의 확대 보급의 장애 요인이 되고 있다.

그러므로, 향후 곡선 강교량의 확대보급 및 최적의 유지관리를 위해서는 곡선 강교량의 전체적인 거동 특성과 관련한 받침구조의 거동 특성 및 받침의 설계기법, 특히 부반력과 관련한 설계기준 정립, 설계, 시공, 및 유지관리에 관련된 받침 구조부의 상세구조 세목의 제시 등의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 곡선 강교량의 거동 중에서 하부구조(받침부)의 거동 특성을 파악하여 받침부 설계 시 필요한 기초자료 제시를 목적으로 다음과 같은 연구를 수행하였다. 국내 곡선교(고속도로, 일반국도) 현황과 국내·외 설계기준을 조사하여 곡선교의 설계 및 유지관리를 위한 기초자료를 제공하고, 받침 내의 앵커볼트에 발생하는 불균등력을 산정하고, 초기유격 조건이 받침부의 거동과 반력에 미치는 영향을 조사하여 받침부 설계 및 시공을 위한 안전계수와 기초자료를 제시하고자 한다.

1.2 기존 연구 동향

곡선 강교량의 설계와 관련한 연구는 직선 교량과 비교하여 상대적으로 국내·외에서 많이 수행되어지고 있지 않은 실정이다.

국내의 경우, 곡선교에 대한 온도하중에 관한 연구는 받침의 배치 방법에 따른 곡선교의 온도 거동에 관한 연구(장승필 1997, 홍민기 1998) 등이 수행된 사례가 있으나 적용범위가 매우 제한적이다. 특히 곡선교의 경우 가로보와 주형의 연결부, 교좌장치 등에서는 직선교량과 상당히 다른 응력 거동을 보이기 때문에 이 부분의 피로성능은 직선교와 많은 차이가 있다. 그러나 곡선 강교의 거동 특성과 이를 고려한 구조상세의 피로강도에 대한 검토 및 연구는 진행된 것이 없다.

국외에서는 곡선보 이론 및 해석기법에 대해 Morris(1968)는 뒤흔효과를 고려하지 않은 곡선보의 강도행렬을 유도하였고, Yoo(1979)는 Vlasov의 곡선보에 관한 지배미분방정식의 제차해를 형상함수로 사용하여 곡선보의 강도행렬을 구하였다. 이 밖에도 동적해석이나 곡선교량의 복부관과 플랜지의 극한거동 등은 연구 실적이 있으나 받침에 대해서는 연구 실적이 없는 실정이다.

받침부의 구조상세 대해서는 내진설계 방향으로만 연구가 되어 있으며, 곡선교처럼 내측지점에 부반력이 발생하여 받침 내의 볼트에 불균등하게 인발력이 작용하는 것을 규명하는 연구는 되지 않고 있다.

1.3 연구내용 및 범위

본 연구에서는 곡선교의 설계, 시공 및 유지관리를 위한 기초자료 구축과 받침부의 거동을 규명하기 위해 다음과 같은 연구를 수행하였다.

(1) 곡선교의 부반력에 영향을 미치는 기하학적인 매개변수인 교량전체길이, 곡선반경, 최대스팬길이, 상부구조, 횡방향 구배, 유효폭, 받침간격, 받침종류 등에 따른 국내의 고속도로와 일반국도의 곡선교에 대한 현황을 조사하여 국내 곡선교 현황에 대한 DB 구축을 위한 기초 자료를 제공하였다. 그리고 일본의 곡선교 현황도 조사하여 국내와 비교·분석한 후 곡선 강교량에 대한 보다 광범위한 자료를 제시하고자 하였다.

(2) 국내의 도로교표준시방서(1992), 도로교설계기준(2000), 일본의 도로교시방서·동해설(2002), 미국의 AASHTO(2002), 그 외 영국의 설계기준을 조사하여 부반력에 대한 규정을 조사하였다. 그리고 국내·외의 부반력 발생에 의한 받침손상사례를 조사하여 향후 부반력에 대한 국내 연구방향의 기초자료로서 활용하도록 하였다.

(3) 대상교량을 선정하여 구조해석을 수행한 후 반력을 평가하고 하중조합에서 일반 조건과 부반력 조건으로 구분하여 부반력을 산정하고 설계 당시의 시방기준인 도로교표준시방서(1992)의 부반력 산정식과 현행 시방기준인 도로교설계기준(2000)의 부반력 산정식으로 구한 부반력을 비교하고 분석하였다.

(4) 국내 곡선교의 자료 조사를 기초로 곡선교의 받침부와 곡선교의 기하학적 인 특성과의 관련성을 검토하기 위하여 받침부를 포함한 상세 구조해석을 실시하여 받침 내의 앵커볼트에 발생하는 불균등하게 작용하는 인발력을 산출하였으며, 관용적인 구조해석에서의 반력으로 얻어진 앵커볼트에 발생하는 인발력과 상세구조해석에서 얻어진 불균등한 인발력을 비교하여 받침부의 앵커볼트 설계 시 필요한 안전계수를 제시하였다.

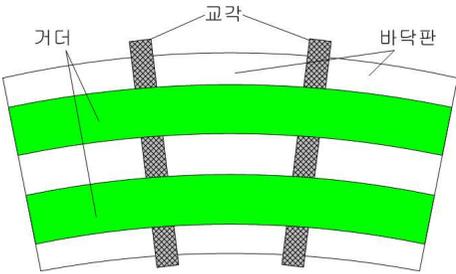
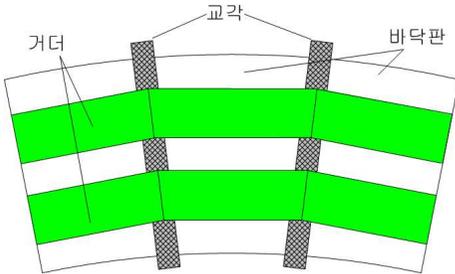
(5) 설계 시 가정한 곡선교의 구조적 거동과 실제 곡선 강교량의 구조적 거동 차이에 따른 특성을 조사하기 위하여 부반력 받침용 비선형 해석 프로그램을 개발하여 부반력 받침의 앵커볼트 불균등력을 산정하고, 받침 내부에서의 상하 유격량, 가동유도장치의 유격량, 수평 유격량 등에 따른 구조 요소 조건이 앵커볼트의 거동과 불균등력에 미치는 영향을 분석하고 평가하였다.

2장. 곡선 강교량 받침부의 구조적 특성

2.1 곡선거더와 직선거더

이 절에서는 곡선교량에서 거더를 곡선으로 했을 경우와 직선으로 했을 경우의 장·단점을 비교하였다. 표 2-1은 곡선거더와 직선거더의 장·단점을 비교하여 나타낸 것이다.

표 2-1 곡선거더와 직선거더 비교

구분	곡 선 거 더	직 선 거 더
장 점	<ul style="list-style-type: none"> · 연속교로 설계 가능 <ul style="list-style-type: none"> - 효과적인 단면설계 · 장지간의 교량의 제작이 가능 · 공사비의 절감, 공기단축 효과 · 하부공간의 효율적인 활용 도모 	<ul style="list-style-type: none"> · 구조해석이 용이
단 점	<ul style="list-style-type: none"> · 구조적 거동 특성이 복잡 · 해석 및 설계에 있어서 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> · 지간이 짧은 단순보의 형태 · 하부구조가 많이 필요 · 신축이음부의 유지관리 어려움 · 공사비 증가 · 바닥판 캔틸레버 부분 길이 제한
형 상	 <p>그림 2-1 곡선거더</p>	 <p>그림 2-2 직선거더</p>

2.2 받침설계의 기본사항

이 절에서는 받침 설계에 대해 도로교받침편람(일본도로협회 2004)과 도로교 설계기준(2000)에서 제시하는 기본적인 사항을 정리하면 다음과 같다.

2.2.1 받침의 기능

도로교받침편람(일본도로협회 2004)에서는 받침에 필요한 기본적인 기능에 대하여 다음과 같이 기술하고 있다.

1) 하중 전달 기능

상부구조에 작용하는 하중은 모두 하부구조를 통하여 기초 지반에 확실히 전달하여야 한다. 따라서 받침은 이 상부구조에서의 하중을 확실히 지지함과 동시에 안전하고 원활하게 하부구조에 전달하는 기능을 가져야 한다.

2) 수평 이동 기능

상부구조는 하중의 재하, 온도변화, 콘크리트의 크리프·건조수축, 프리스트레스트력 등 여러 종류의 요인에 의해 신축된다. 받침에는 이러한 상·하부구조에 생기는 수평변위에 대해 추종할 수 있는 기능이 필요하다. 한편, 이 신축기능을 가진 받침을 가동받침, 가지지 않는 받침을 고정받침이라 하고, 고정받침에는 상부구조전체가 교축방향으로 이동하는 것을 방지하는 기능을 가지게 된다.

3) 회전 기능

상부구조는 하중의 재하에 의해 처짐을 일으키지만 이것에 의해 지점부는 회전 변위를 일으킨다. 받침은 이 회전변위에 무리 없이 추종할 수 있는 기능을 갖추어야 한다.

이러한 기본적인 기능 외에, 받침에는 지진 등에 의한 상부구조의 과도한 이동을 방지하는 기능이 필요하다.

이상 기술한 것처럼 받침에 요구되는 기능은 교량이 그 구조계의 역학적 기본을 유지하는데 극히 중요한 기능이며, 특히 교량의 내진설계의 측면에서 받침의 기능은 매우 중요하다. 따라서 교량 설계에 있어서 받침은 상·하부구조의 설계와 동일하게 인식되어야 하며, 교량형식에 따른 최적의 받침형식 및 받침배치가 선정되도록 충분한 배려가 이루어져야 한다.

2.2.2 부(-)의 반력

받침에 부(-)의 반력이 작용하는 경우에 받침은 식 (2-1)과 식 (2-2)에 의해 구해진 부의 반력 중 불리한 값을 사용하여 설계하는 것을 원칙으로 한다.(도로교설계기준 2000)

$$R = 2R_{L+I} + R_D \quad (2-1)$$

$$R = R_D + R_W \quad (2-2)$$

여기서,

R : 받침 반력(tonf)

R_{L+I} : 충격을 포함한 활하중에 의한 최대부반력(tonf)

R_D : 고정하중에 의한 받침반력(tonf)

R_W : 풍하중에 의한 최대부반력(tonf)

2.2.3 받침의 설계하중

도로교받침편람(일본도로협회 2004)에서 제시하는 설계하중에 대한 사항은 다음과 같다. 받침의 설계하중은 2.2.2에서 구한 지점반력 및 그 조합 중에서 가장 불리한 값을 사용하는데, 그 외에 특히 유의해야 할 점은 다음과 같다.

1) 수직반력

동일 받침선상에 배치된 각 받침의 수직반력에 해석상 차이가 생기는 경우에 있어서도, 시공 시의 오차나 철근콘크리트상판의 강성 평가 등 해석상의 오차 등을 고려하여, 최소수직반력은 $\sum R/n$ ($\sum R$: 동일받침선상의 전체수직반력, n : 받침수) 이상으로 하는 것이 바람직하다.

2) 수평반력

수직반력과 마찬가지로 최소수평반력은 $\sum H/n$ ($\sum H$: 동일받침선상의 전체수평반력) 이상으로 하는 것이 바람직하다. 또 풍하중에 의한 수평반력에 대해서도 마찬가지로 배려하는 것이 바람직하다.

3) 상향력

지진 시의 수평력을 받침에서 받는 강제받침의 경우, 내진설계에서 가정하고 있는 구조계를 유지하는 의미에서 받침부 설계 시 구조계산 상 부의 반력이 작용하지 않는 경우에도 전체 반력의 10%를 상향력으로 하여 상향력에 대한 내력을 주는 것으로 한다. 또 고무받침에서도 그 설계 상향력은 전체 반력의 10%를 밑돌아서는 안 된다. 단, 고무받침 본체에서 전체 반력 10%의 상향력을 지지할 수 없는 경우에는 앵커바나 낙교방지장치 등을 설치하여야 한다.

2.3 국내·외의 부반력 받침 구조와 상세

이 절에서는 국내·외의 부반력 받침에 대한 기본적인 개념을 기술하고자 한다. 국내의 경우는 현재 곡선교에서 가장 실적이 많은 포트받침을 대상으로 하였으며, 외국의 경우는 비교적 국내 건설 상황과 유사한 일본을 대상으로 하여 정·부반력에 대한 받침의 구조 개념에 대해 조사하고 비교한다.

2.3.1 국내의 받침 구조

국내 곡선 강교량의 받침에는 3.1절에 나타낸 것과 같이 포트받침의 실적이 가장 많기 때문에 포트받침을 대상으로 한다. 현재 국내의 곡선 강교량에 사용되는 대표적인 포트받침의 일례를 그림 2-3에 나타내었다.

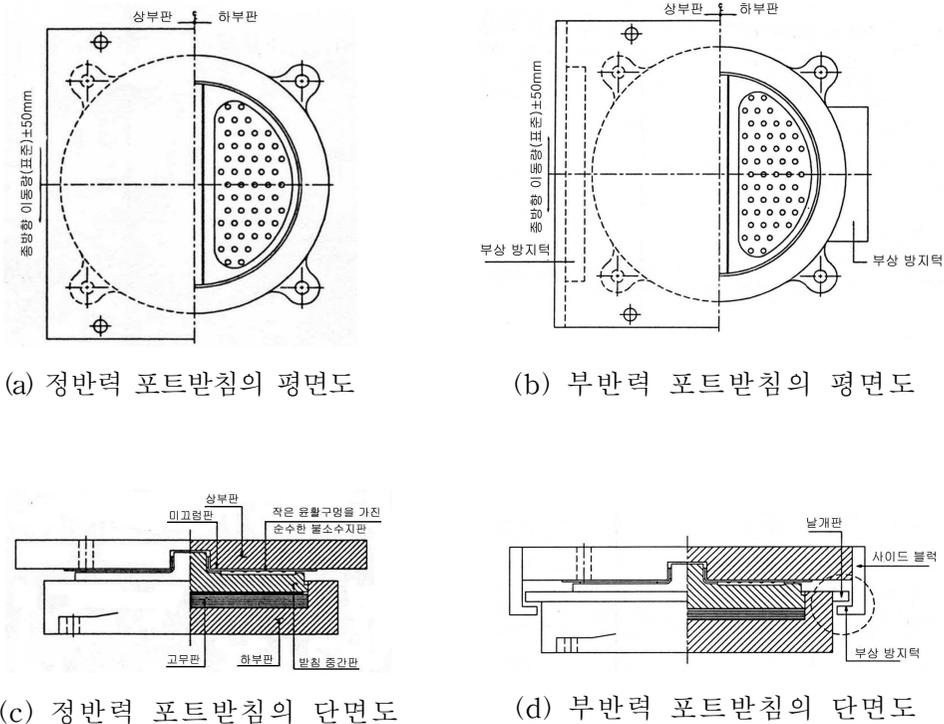


그림 2-3 곡선 강교량 받침의 일례

이 포트받침은 일반적으로 하향의 연직하중(정반력)을 받는 정반력 받침으로 사용하기 위하여 개발된 받침으로 평상시에는 정반력을 받는다. 그러나 경우에

따라서 특수한 하중조건에 의해 일시적으로 부담하게 되는 하중규모가 크지 않은 부반력에 적용하기 위하여 정반력 받침으로 개발된 포트받침을 부반력 받침용으로 활용할 수 있다. 이러한 포트받침은 가동방향에 따라 고정단 받침, 일방향 가동받침과 전방향 가동받침으로 나뉘어 진다.

그림 2-3 (a), (c)는 정반력 포트받침에 대한 평면도와 단면도를 나타낸 것이며, 그림 2-3 (b), (d)는 받침의 일부기능이 부반력에 저항할 수 있도록 구성된 평면도와 단면도를 나타낸 것이다. 그림 2-3 (c), (d) 단면도에서 고무판은 회전변위 및 연직하향 하중을 수용하는 기능을 가지고 있으며, 불소 수지판은 중간판과 상부판 사이에 접촉면에서의 활동이 가능하도록 슬라이딩을 유도하여 가동단을 이루는 것이다.

중간판과 상부판 사이에 설치된凹凸구조는 가동유도장치로서 일방향 가동단을 구성하는 것이며,凹凸이 없을 경우에는 전방향 가동단이 된다. 그러나 가동단 포트받침과는 달리 고정단 포트받침에서는 중간판과 상부판이 일체로 되어 있어 수평방향의 변위는 구속되며, 연직축(Z)에 대한 회전변위 만이 가능하다.

표 2-2는 가동단 받침(일방향, 전방향) 및 고정단 받침에서의 허용변위 성분을 나타낸 것이다.

표 2-2 포트받침에서의 허용변위성분

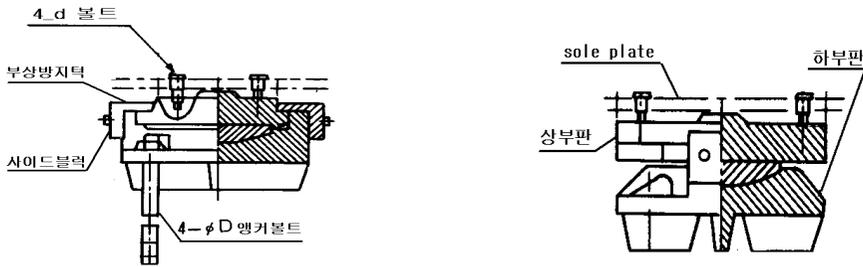
구 분	수평축 (X and Y축)에 대한 회전 변위	연직축(Z)에 대한 회전 변위	수평방향 변위
고 정 단	○	○	×
일방향 가동단	○	○	○(X축 or Y축)
전방향 가동단	○	○	○(X축 and Y축)

그림 2-3 (b), (d)의 부반력용 포트받침은 부반력에 저항하기 위한 목적으로 날개판, 사이드블럭, 부상방지턱의 구조 상세부재를 정반력 포트받침에 비해 추가로 배치한 구조이다. 따라서 정반력이 작용하는 경우에는 정반력 받침과 동일한 메카니즘을 이룬다. 그러나 부반력이 작용하는 경우, 중간판 및 고무판은 부반력 저항기구에 기여를 하지 않으며, 상부판에 설치된 부상방지턱과 하부판

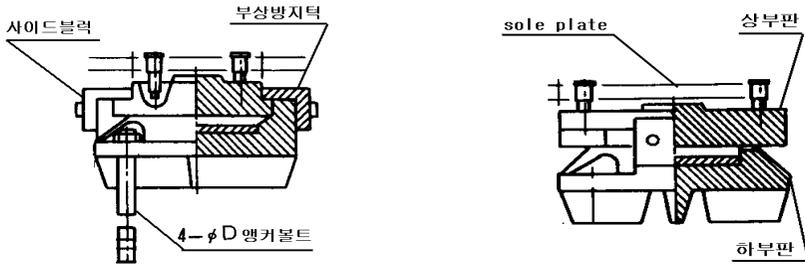
에 설치된 날개판의 유격이 밀착됨으로써 부반력에 저항하는 메카니즘을 형성하게 된다. 즉, 정반력 받침과 부반력 받침은 근본적으로는 같은 구조적인 형상을 하고 있으나, 사이드블럭의 부상방지턱과 날개판이 설치되어 이것에 의해 부반력을 지지하는 기능을 갖게 하여 하나의 받침이 부반력과 정반력과 같이 받을 수 있게 하는 기능일체형 받침인 것을 알 수 있다.

2.3.2 외국의 받침구조

본 연구에서는 외국 받침상세로 일본의 받침구조 상세를 조사하였다.



(a) 고강도회동받침판 받침의 정면도 (b) 고강도회동받침판 받침의 측면도



(c) 밀폐고무판 받침의 정면도 (d) 밀폐고무판 받침의 측면도

그림 2-4 일본의 받침구조상세 사례

현재 일본의 강교량 설계에 사용되는 받침을 일본교량건설협회의 교량설계를 위한 2001년 Design Data Book에 기초하여 조사한 결과, 선받침(LB), 고강도회동받침판받침(BP.A), 밀폐고무받침판받침(BP.B), 핀받침(PN), 핀롤러받침(PN.B)이 사용되고 있음을 알 수 있었다. 이 가운데 본 절에서는 국내의 포트받침과 유사한 기능을 갖는 고강도회동받침판받침(BP.A), 밀폐고무받침판받침(BP.B)에

대한 구조 상세를 조사하였다.

그림 2-4에 고강도황동받침판받침(BP.A), 밀폐고무받침판받침(BP.B)의 대표적인 형상을 나타내었으며, 국내의 받침구조와 같이 하나의 받침에 의해 정반력과 부반력을 동시에 받을 수 있는 구조이다.

그러나 국내 받침과의 근본적인 차이는 일본 받침의 경우, 국내와 같이 받침을 정반력 받침과 부반력 받침으로 분류하는 것이 아니라 모든 받침을 정반력 기준으로 설계하며, 예상하지 않은 하중 조건 등에 의해 발생될 수 있는 부반력에 대응하기 위해 모든 받침에 소정의 부반력 기능을 갖도록 하는 기능일체형 받침이다. 또한 그림 2-4를 보면 이러한 역할을 해주는 사이드블럭의 크기가 국내의 크기에 비하여 보다 강결하게 되어 있으며, 위치가 국내의 것과는 달리 하부받침에 사이드블럭이 설치되어 거더가 상향으로 움직이는 것을 잡아주고 있으므로 부반력 저항에 대한 효율성이 높을 것으로 판단된다.

그림 2-5에 앞에서 설명한 2001년 Design Data Book에 있는 받침을 대상으로 각 받침에 대한 전체반력(정반력)과 상향력의 관계를 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 것과 같이 받침형식에 따라 약간의 차이는 있으나 전체적으로 모든 받침은 전체반력(정반력)에 대해 0.075~0.10의 비율로 상향력을 갖는 구조로 되어 있는 것을 알 수 있다.

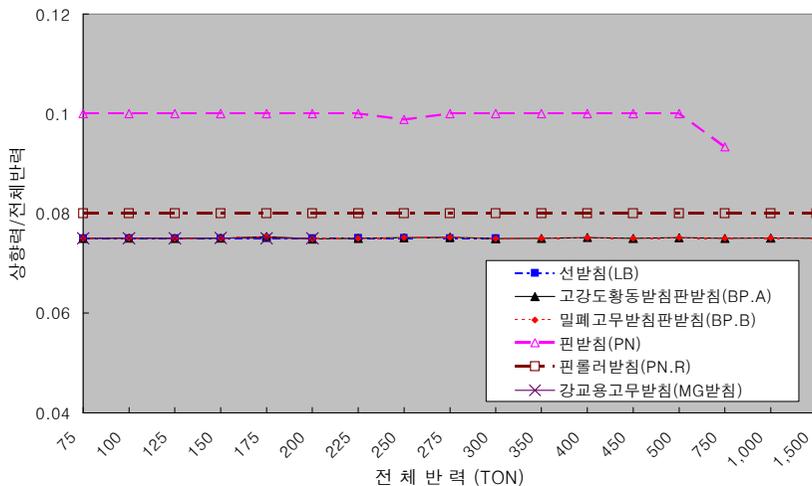


그림 2-5 받침 종류별 상향력/전체반력의 비

2.4 포트받침의 하중전달 경로

일반적으로 부반력 받침에 사용되는 포트받침의 하중전달 경로는 다음 4가지 경우의 하중지지 기능으로 분류할 수 있다.

- CASE 1 : 하향 연직하중 고려의 경우
- CASE 2 : 상향 연직하중 고려의 경우
- CASE 3 : 하향 연직하중 및 지점의 회전영향 고려의 경우
- CASE 4 : 상향 연직하중 및 지점의 회전영향 고려의 경우

그림 2-6은 정반력을 받고 있는 지점에서 실제 구조물의 받침 하면에 작용하는 반력 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 것과 같이 실제 구조물에 작용하는 반력의 합력은 받침의 중심에서 편심을 이루어 거더 안쪽 받침에서 보다 크게 작용하는 편심구조로 작용하게 된다. 따라서 CASE 1, 2의 경우는 하향과 상향의 연직 방향 반력을 대상으로 포트받침의 하중전달경로를 조사하기 위해 이상화시킨 경우의 모델로 생각할 수 있다. 그러므로 실제 구조물에서는 CASE 3과 4와 같은 모델 구조로 연직하중과 지점의 회전영향이 고려된 반력을 받침 구조가 지지하게 된다.

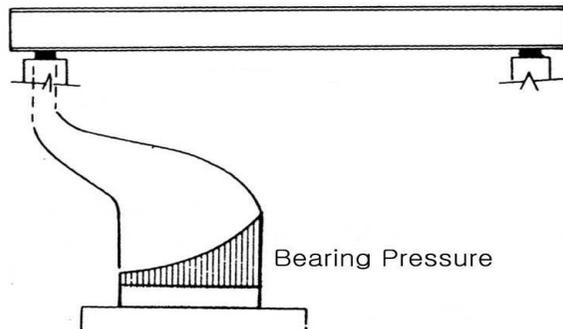


그림 2-6 받침 하면에 작용하는 반력의 분포

다음의 그림 2-7, 2-8, 2-9는 각각 CASE 1, 2, 4를 각각 이상화시킨 모델을 나타낸 것이다.

그림 2-7의 하향 연직하중만이 작용하는 경우, 포트받침의 상부판 상면에 전달된 하중은 상부판과 중간판, 중간판과 고무판, 고무판과 하부판, 하부판과 하부구

조의 몰탈 지지면의 지압에 의해 하부구조로 전달된다.

그림 2-8의 상향 연직하중만이 작용하는 경우에는 하향 연직하중만이 작용하는 경우와는 달리 상부판의 상면에 전달된 하중은 상부판을 상향으로 들어 올려 상부판에 붙어 있는 사이드블럭이 하부판의 날개판과 접촉함으로써 하부판의 앵커볼트로 직접 전달되게 된다. 이때 받침 내부의 중간판과 고무판은 하중전달기구에 어떠한 기여도 하지 않는다.

그림 2-9의 경우는 받침 중심에 대한 상향 연직하중 합력의 편심이 커져 모멘트의 크기가 받침 중심에 작용하는 상향 연직하중에 비해 상대적으로 큰 경우이다. 상향의 연직하중과 지점의 회전영향이 있는 경우는 상향 연직하중 및 지점의 회전영향과 모멘트의 크기에 따라 중간판과 고무판에는 연직하중의 하중이 전달될 수도 있고 전달되지 않을 수도 있다. 따라서 그림에서 보는 것과 같이 왼쪽의 앵커볼트에는 인발력이 작용하게 되지만, 오른쪽의 앵커볼트에는 인발력이 작용하게 되지 않으며 모르타르의 지지면에 지압력이 작용하게 된다.

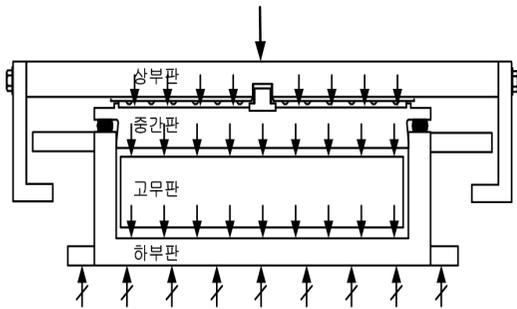


그림 2-7 하향 연직하중 작용 시

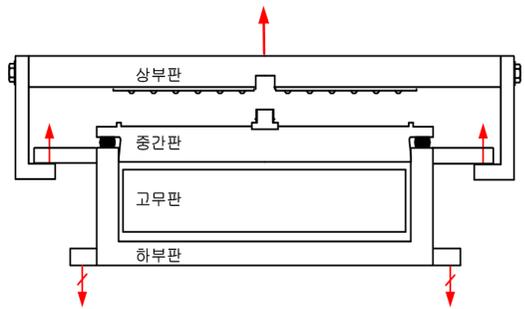


그림 2-8 상향 연직하중 작용 시

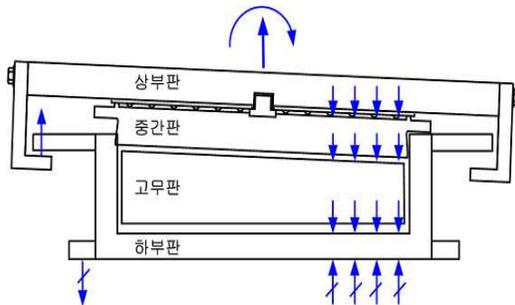


그림 2-9 상향 연직하중 및 모멘트 작용 시

이상에서 기술한 거동 특성을 고려하면 실제교량 받침에서는 상향 연직 하중과 모멘트가 동시에 작용하기 때문에 앵커소켓이 받는 인장력은 일반적인 설계에서 고려하고 있는 모델과 같이 $P(\text{전체 부반력})/4$ 가 되지 않고 특정 앵커(받침 배치 위치에 따라 편심 작용 위치가 달라짐)로 하중이 집중되는 현상, 즉 곡선반경 내측 받침은 교축 및 교축 직각방향으로 회전된 상태에서 위로 들리는 부반력이 작용하게 되어 불균등한 인발력이 작용하게 될 수 있다. 그러므로 현행 설계에서 단순하게 고려하고 있는 등분할 하중의 설계는 경우에 따라 곡선 교량의 부반력을 정확하게 평가할 수 없게 된다. 따라서 향후 부반력 받침 설계에서는 이러한 부반력 받침 거동 특성을 정확하게 평가하여 설계에 반영하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 이들 특성을 고려한 상세 구조해석을 실시하고 이들을 어떻게 설계에 반영해야 하는가를 조사하였으며, 이것에 대한 내용은 4.2절에서 기술하고자 한다.

3장. 곡선교의 구조적 특성 조사 및 분석

3.1 국내·외의 곡선교 현황 조사

이 절에서는 곡선 강교량의 구조적 특성과 부반력의 관계를 파악하기 위하여 국내 고속도로와 국도의 교량 및 일본의 곡선 상자 강교량 실적을 조사하고 기하학적 특성을 분석하였다.

3.1.1 부반력 발생 검토 식

Nakai 및 Yoo(Analysis and Design of Curved Steel Bridges 1988)는 곡선교에서의 부반력 발생이 곡선교의 기하학적인 형상에 영향을 받으므로 그림 3-1에 나타난 것과 같이 곡선 거더교에 대해 부반력 발생을 방지할 수 있는 거더의 기하학적인 형상을 식 (3-1)과 같이 나타내었다.

$$\frac{R \cdot \theta}{B} \leq 10 \quad (3-1)$$

여기서, B : 받침간 간격
 θ : 중심각
 R : 곡선반경
 L : 지간길이

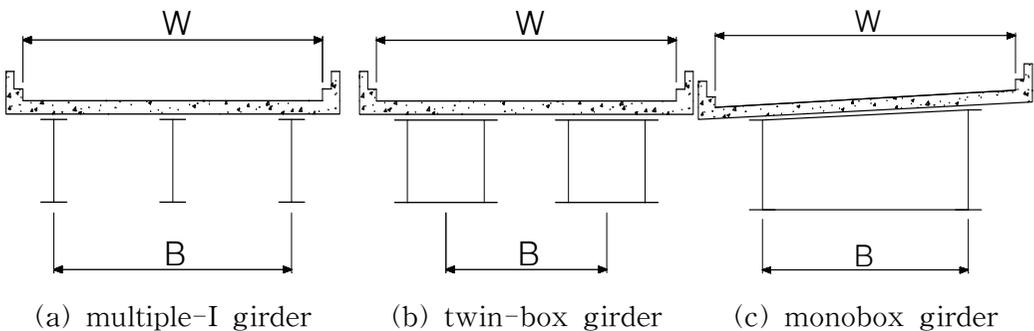


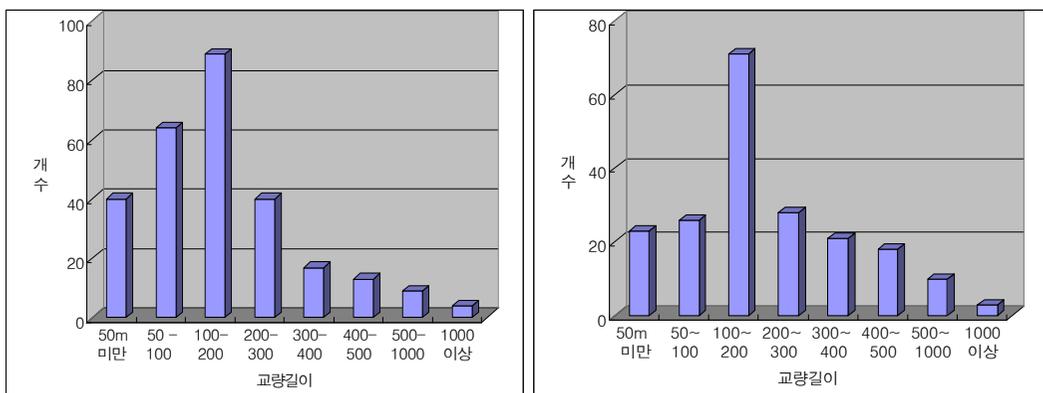
그림 3-1 대표적인 거더교 형상

3.1.2 국내 곡선교 현황 조사

부반력 발생 검토에서 받침간격(B), 곡선반경(R), 교량지간길이(L)가 곡선교의 유지관리와 부반력 발생 유·무를 판단하는 데 있어서 중요한 인자로 판단되므로 국내의 교량 DB를 기초로 곡선교 현황을 조사하고 이들 곡선 강교량에서는 부반력 평가가 가능한지를 검토하였다. 국내의 고속도로(한국도로공사)와 국도(건설교통부)에서의 분석 결과, 고속도로는 2004년 현재 공용중인 교량 5389개 가운데 곡선교가 1107(20%)개를 차지하였으며, 이들 중 강교량은 276개이다. 국도는 현재 공용중인 4706개의 교량 가운데 곡선교가 662(14%)개로 조사되었으며, 이들 중 강교량은 200개이다.

1) 교량길이에 대한 분류

그림 3-2에 고속도로와 국도의 곡선 강교량을 교량길이에 따라 분류한 것을 나타내었다. 그림에 나타난 것과 같이 고속도로는 100m~200m의 곡선교가 32%로 가장 많았고, 국도는 100m~200m의 곡선교가 36%로 가장 많았다. 고속도로는 2, 3경간 연속교 형태가 많았고, 국도는 3경간 연속교 형태가 가장 많으며, 고속도로와 국도 모두 50m~200m의 곡선교가 70%, 60%를 차지함으로써 유사한 분포를 나타내고 있다.



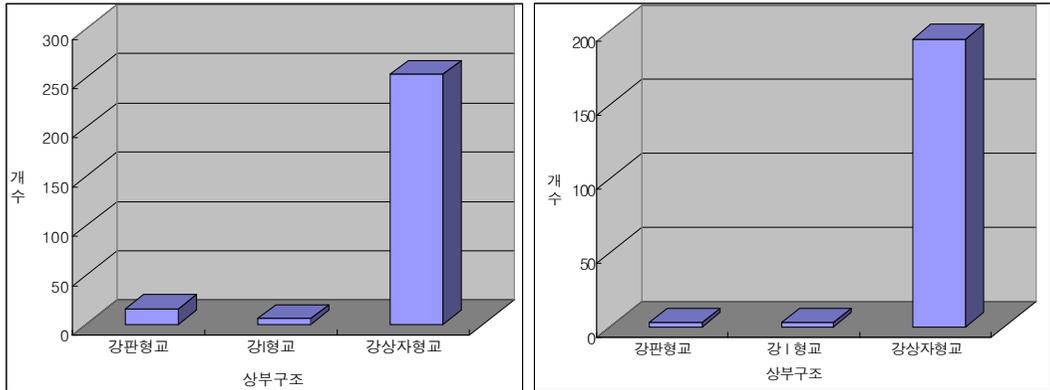
(a) 고속도로

(b) 국도

그림 3-2 교량길이에 따른 분류

2) 상부구조 형식에 따른 분류

그림 3-3은 고속도로와 국도의 곡선 강교량을 상부구조 형식에 따라 분류한 것이다. 고속도로와 국도 모두 강상자형교가 90%이상 사용되고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 강상자형교의 특성을 반영한 것으로 판단된다.



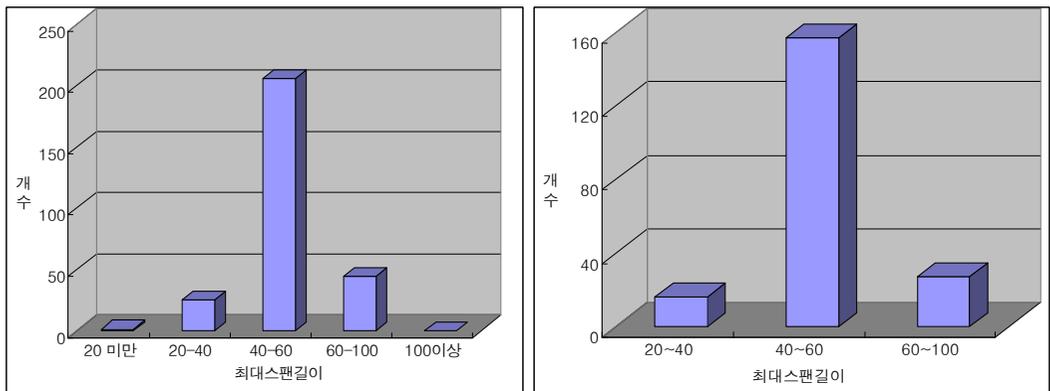
(a) 고속도로

(b) 국도

그림 3-3 상부구조 형식에 따른 분류

3) 최대 스패길이에 따른 분류

그림 3-4는 고속도로와 국도의 곡선 강교량을 최대스패길이에 따라 분류한 것이다. 고속도로는 지간 40m~60m의 교량이 75%이고, 국도는 40m~60m의 교량이 80%이다. 이와 같은 결과는 강교량의 일반적인 구조 특성에 의존하는 것으로 생각된다.



(a) 고속도로

(b) 국도

그림 3-4 최대스패길이에 따른 분류

곡선교 중에서 본 연구의 주요 대상이 되는 전도 위험의 가능성이 있는 교량은 단경간 곡선교이다. 따라서 『4) 유효폭에 따른 분류』부터는 고속도로와 국도의 단경간 곡선교에 대해서 분류해 보고자 한다. 표 3-1은 고속도로의 IC 및 JC에서의 교량 분포를 나타낸 것이다.

표 3-1 고속도로의 IC 및 JC에서의 교량 분포

	전체교량	강교량	단경간교량	단경간강교량	비고
IC 교량	162개	70개(43%)	73개	26개(35%)	
JC 교량	88개	56개(70%)	30개	6개(20%)	
합 계	250개	126개(50%)	103개	32개(31%)	

표 3-1에 나타낸 것과 같이 고속도로 전체 곡선교 1107개 가운데 IC 및 JC에서의 곡선교가 250개로 23%를 차지하였으며, 50%가 강교량의 IC 및 JC교량이다. 또 이들 IC 및 JC 곡선교 가운데 단경간 강교량은 31%로 조사되었다. 그리고 국도는 전체 곡선교 662개 가운데 단경간 강교량은 34개의 교량으로 조사되었다.

4) 유효폭에 따른 분류

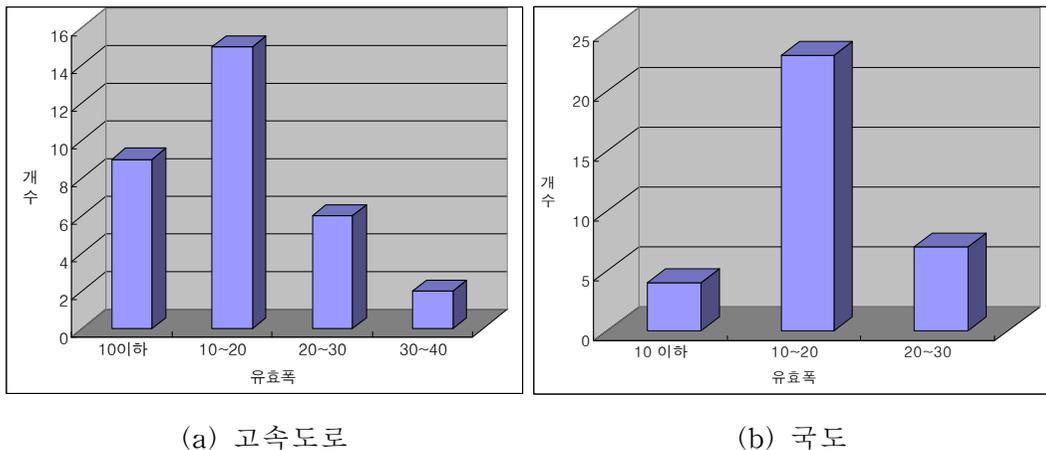
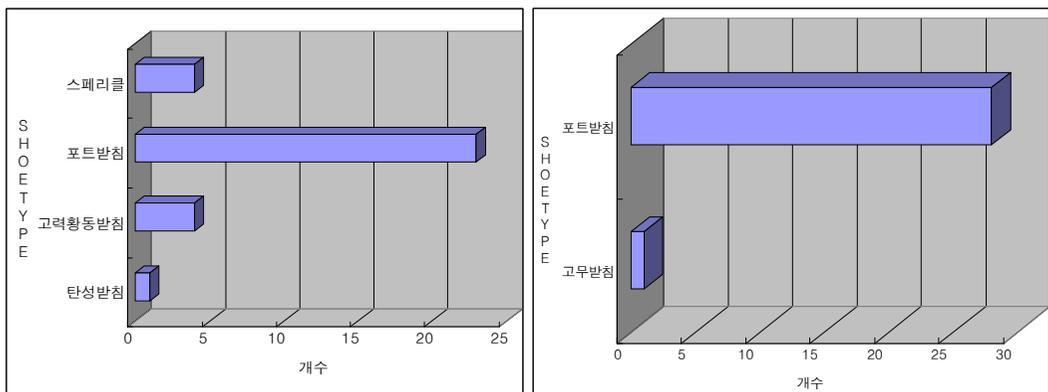


그림 3-5 유효폭에 따른 분류

그림 3-5는 고속도로와 국도의 곡선 강교량을 유효폭에 따라 분류한 것이다. 고속도로는 10m~20m이하가 가장 높은 비율을 나타내고 있으며, 10m 전후가 대부분을 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 국도도 고속도로와 마찬가지로 10m~20m이하가 가장 높은 비율을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 그러나 고속도로는 30m이상에서도 시공된 실적을 보이고 있으나, 국도의 경우는 시공 실적이 없는 것으로 나타났다.

5) 받침 형식에 따른 분류

그림 3-6은 고속도로와 국도의 곡선 강교량을 받침 형식에 따라 분류한 것이다. 그림에 나타난 것과 같이 고속도로와 국도 모두 포트받침의 시공 실적이 가장 많은 것을 알 수 있다. 따라서 이들 자료로부터 본 연구에서는 포트받침을 대상으로 구조해석을 수행하고자 한다.



(a) 고속도로

(b) 국도

그림 3-6 받침 형식에 따른 분류

6) 횡방향 구배에 따른 분류

그림 3-7은 고속도로 곡선 강교량을 횡방향 구배에 따라 분류한 것이다. 그림에 나타난 것과 같이 5%이상의 횡방향 구배를 갖는 단경간 곡선교의 비율이 높은 것을 알 수 있다. 국도에 대해서는 횡방향 구배에 대한 자료가 없으므로 향후 곡선교의 유지관리를 위해서는 국도도 횡방향 구배에 대한 자료가 구축되어야 할 것으로 판단된다.

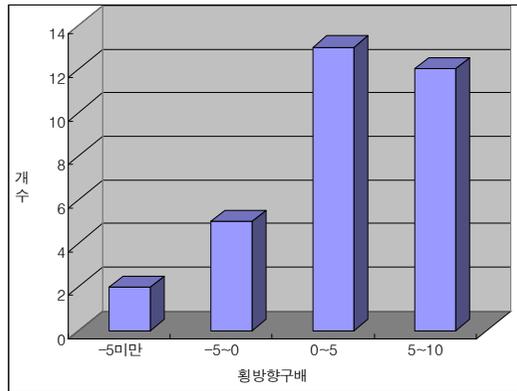
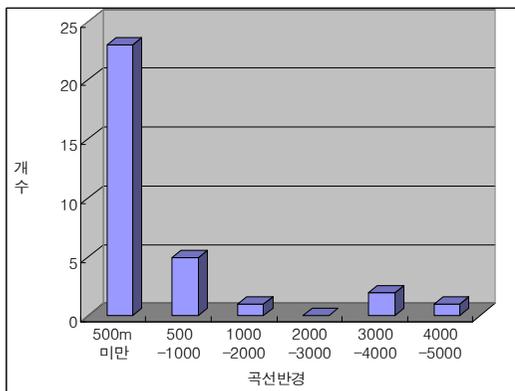


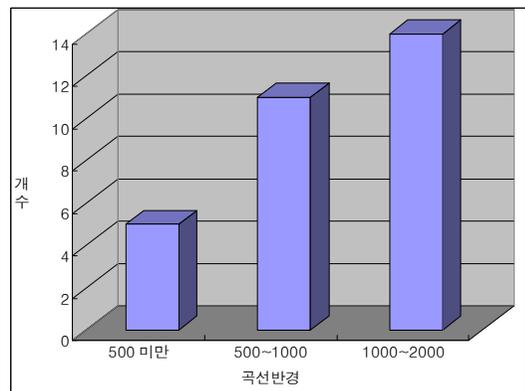
그림 3-7 횡방향 구배에 따른 분류(고속도로)

7) 곡선반경에 따른 분류

그림 3-8은 고속도로와 국도의 곡선 강요량을 곡선반경에 따라 분류한 것이다. 고속도로는 반경 500m 미만이 71%를 차지하고 있으며, 자료로부터 곡선반경이 가장 작은 교량은 80m로 조사되었다. 그리고 국도의 경우는 반경 1000m~2000m의 교량이 가장 많이 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 이와 같은 결과는 고속도로의 경우가 작은 곡선반경을 가져야만 하는 IC 및 JC 곡선교의 특징인 것으로 판단된다.



(a) 고속도로



(b) 국도

그림 3-8 곡선반경에 따른 분류

8) 곡선반경과 횡방향 구배의 관계

그림 3-9에 고속도로 곡선 강교량의 곡선반경과 횡방향 구배의 관계를 나타내었다. 그림에 나타낸 것과 같이 곡선반경이 작을수록 횡방향 구배 값이 크게 나타나는 것을 알 수 있으며 그 경향은 지수적인 관계를 갖는 것을 추정할 수 있다.

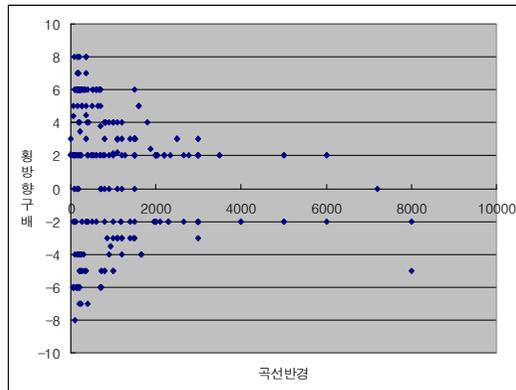


그림 3-9 곡선반경과 횡방향 구배의 관계(고속도로)

3.1.3 국외 곡선교 현황 조사

여기에서는 국내의 설계기준, 제작 및 교통 여건 등이 유사한 일본의 곡선상차거더교에 대한 자료(中井 1994)를 조사하였다.

1) 최대 스펠(지간)길이에 따른 분류

그림 3-10에 최대스펠길이에 따른 분류한 것을 나타내었다. 비합성곡선박스거더교량의 최대스펠길이는 25m~100m의 범위 내에 분포하고 있다. 또 강바닥판박스거더교량에서는 35m~140m의 범위 내에 분포하고, 최대스펠길이가 170m에 달하는 장대곡선박스거더교도 있다. 일반적으로 직선박스거더교는 스펠길이가 40m를 넘는 교량에 채용된다. 그러나 곡선박스 특유의 큰 비틀림 모멘트에 저항하기 위해 곡선교의 경우는 30m 전후의 짧은 지간 교량의 경우라도 박스거더가 채용되고 있는 것을 알 수 있다.

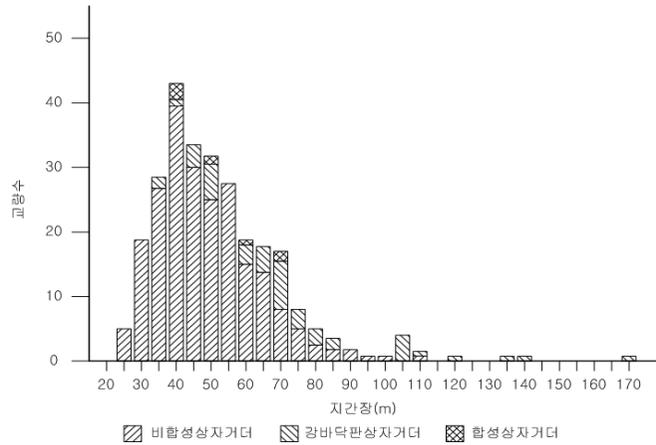


그림 3-10 최대 스패ン길이에 따른 분류

2) 유효폭에 따른 분류

그림 3-11에 유효폭원의 분포를 나타내었다. 유효 폭원 6~14m의 교량이 대부분을 차지하고 있다. 또 광폭원의 교량이 적고, 비교적 폭원이 좁은 고가교의 램프부에 곡선교가 많이 채용되고 있다.

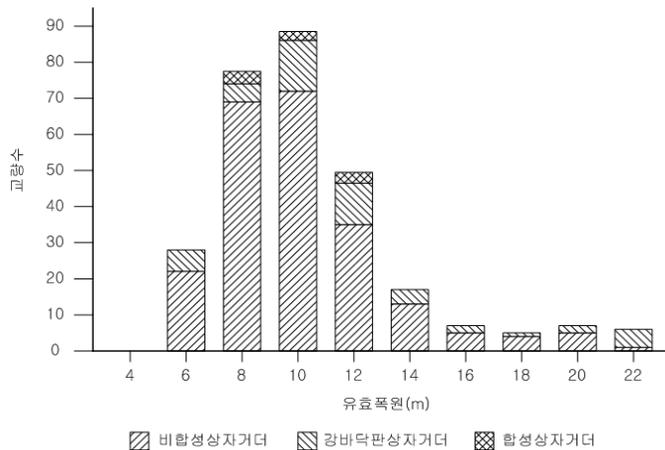


그림 3-11 유효폭에 따른 분류

3) 곡선반경에 따른 분류

그림 3-12에 곡선반경의 분포를 나타내었다. 여기에서, 클로소이드 곡선처럼 곡선반경이 변화하는 교량에서 교량전체에 미치는 평균곡선반경은 40~200m의 범위 내에 많이 분포하여, 전체의 75%를 차지하고 있다.

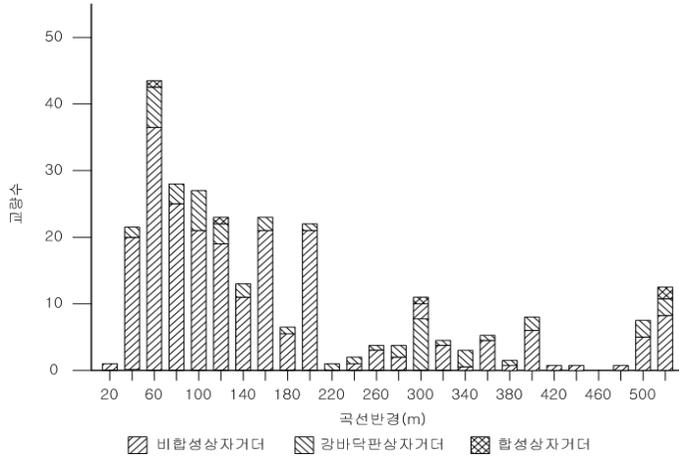


그림 3-12 곡선반경에 따른 분류

3.1.4 국내·외 곡선교 현황 비교 및 고찰

국내·외의 곡선교 현황을 조사한 결과, 국내의 경우는 국도에는 횡방향 구배에 관한 자료는 제공되지 않았으며, 특히 부반력을 간단하게 평가할 수 있는 받침간격에 대한 자료는 고속도로와 국도 모두 제공되지 않았다. 따라서 향후 곡선교의 유지관리와 부반력에 대한 평가를 위해서는 곡선교의 기하학적 특징인 횡방향 구배와 받침간격에 대한 자료를 추가적으로 구축하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

국내 및 일본의 곡선 강교량을 대상으로 곡선 강교량의 기하학적인 특성을 비교한 결과, 조사 대상 교량의 지리적 위치 및 교통량, 교량의 중요도 등의 차이 때문에 국내와의 정확한 상관관계를 제시하기는 어려우나, 전체적으로 국내의 곡선 강교량 현황과 일본의 곡선 강교량 현황은 상당히 유사한 특성을 많이 갖고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 국내의 강교량 설계 기준이 일본의 도로교설계기준과 상당히 유사하기 때문일 것으로 판단된다. 따라서 향후 곡선 강교량에 대해서는 일본의 곡선 강교량 유지관리 체계를 비롯하여 손상사례 및 이에 대한 대처를 조사하고 이를 분석하는 것도 국내 곡선 강교량의 유지관리에 많은 도움이 되리라 판단된다.

3.2 국내·외 설계 기준 조사

이 절에서는 곡선교에 부반력을 발생시키는 하중에 대한 국내·외 설계기준 및 부반력에 대한 설계기준을 조사하여 정리한다.

3.2.1 국내·외 곡선교 설계기준 비교

곡선교의 설계 가운데 원심하중은 차량이 곡선교를 주행할 때 원심력에 의한 수평하중으로서 받침에 부의 반력을 일으키는 원인이 되며, 받침구조에 부반력이 발생하면 구조물의 안정 조건상 교량은 전도의 위험성이 크게 되므로 정확한 원심하중 산정은 중요하다고 생각된다. 따라서 원심하중에 대한 사항을 각 나라별로 조사하였다. 표 3-2에 각국의 설계기준에서 제시하고 있는 원심하중에 대해서 나타내었다.

표 3-2 각 나라별 원심하중

구분	원심하중
국내 도로교설계기준 2000년 7월	$CF = 0.79 \frac{V^2}{R} (\%)$ <p> <i>CF</i> : 원심하중으로서 충격을 포함하지 않은 활하중의 백분율 <i>V</i> : 설계속도(<i>km/h</i>) <i>R</i> : 곡선반경(<i>m</i>) </p>
일본 도로교시방서·동해설 1996년 12월	특별한 경우에 대해서만 고려
미국 Standard Specifications for Highway Bridges 2002년	$C = 0.00117 S^2 D = \frac{6.68 S^2}{R}$ <p> <i>C</i> : the centrifugal force in percent of the live load, without impact <i>S</i> : the design speed in miles per hour <i>D</i> : the degree of curve <i>R</i> : the radius of the curve in feet </p>
영국 British Standards Institution	$F_c = \frac{30000}{r + 150} kN$ <p> <i>F_c</i> : the nominal centrifugal load <i>r</i> : the radius of curvature of the lane(in m) </p>

곡선교는 차량이 주행할 때 원심력에 의한 수평하중을 받게 된다. 이러한 수평하중은 그 크기가 교량의 곡선반경과 차량의 주행속도에 의해 결정되며, 곡선교를 설계하는 과정에서 원심하중으로 정의하여 교면 상 1.8m 높이에서 재하하게 된다. 이에 대한 국내·외의 관련 규정은 국내 및 미국은 충격을 고려하지 않은 표준트럭 하중을 대상으로 교량의 곡선반경과 차량의 주행속도를 사용하여 트럭의 수직하중에 대한 백분율로 원심하중을 계산하도록 규정하고 있다.

그러나 영국의 경우는 주행속도에 상관없이 교량의 곡선반경에 의해서 공칭 원심하중의 크기를 직접 계산하도록 규정하고 있으며, 일본의 경우는 특별한 경우에 대하여만 원심하중을 고려하도록 하고 있으나 이때 특별한 경우에 대하여는 별도로 정하고 있는 규정이 없으며, 원심하중 크기도 별도로 규정하고 있지 않다.

3.2.2 국내·외 곡선교 부반력 규정

곡선교의 설계 가운데 부반력의 영향 또한 원심하중과 마찬가지로 중요한 요소이므로 각 나라별 받침에 작용하는 부의 반력에 대한 조건식을 각 나라별로 표 3-2에 나타내었다. 각 조건식에 의해 얻어진 부의 반력 중에서 가장 불리한 값을 사용하여 설계하는 것을 원칙으로 한다.

표 3-3 각 나라별 부반력 산정 식

구분		받침에 작용하는 부의 반력
국내	도로교표준시방서, 1992년 11월	$R = 2R_{L+I} + R_{D1} + \frac{R_{D2}}{1.5}$
	도로교표준시방서, 1996년 4월	$R = 2R_{L+I} + R_{D1} + \frac{R_{D2}}{1.5} + R_W$ $R = R_{D1} + \frac{R_{D2}}{1.5} + R_E$
	도로교설계기준, 2000년 7월	$R = 2R_{L+I} + R_D$
	도로교설계기준·해설, 2002년 12월	$R = R_D + R_W$
일본	도로교시방서·동해설 1996년 12월	$R = 2R_{L+I} + R_D$ $R = R_D + R_W$
미국	Standard Specifications for Highway Bridges (2002년)	$R = 2R_{L+I} + (\text{각 하중조합})$ $R = 1.5 \times (\text{사용하중에서 계산된 부반력})$

R : 받침반력(t)

R_{L+I} : 충격을 포함한 활하중에 의한 최대부반력(t)

R_{D1} : 받침에 부의 반력을 일으키는 부분에 가해지는 사하중에 의한 받침반력(t)

R_{D2} : 받침에 정의 반력을 일으키는 부분에 가해지는 사하중에 의한 받침반력(t)

R_W : 풍하중에 의한 최대부반력(t)

R_E : 지진에 의한 최대부반력(t)

R_D : 사하중에 의한 받침반력(t)

미국의 경우, 활하중과 충격을 100% 증가시킨 2배의 하중효과와 증가시키지 않은 다른 하중이 조합된 상태의 설계 부반력을 사용하여 인장을 받는 앵커볼트 등 각 구조요소에 대하여 허용응력을 1.5배로 증가시킨 조건에서 안전을 유지하도록 규정하고 있다.

일본의 경우, 받침을 설계할 때 충격을 포함한 활하중(R_{L+I})에 2배의 하중계수를 적용하도록 하고 있으나, 이때는 단지 사하중만 추가로 조합시켜 계산할 수 있으며 미국과 같이 별도로 허용응력에 관한 증가계수는 고려하지 않도록 하고 있다.

부반력 조건으로서 별도로 2배의 하중계수를 적용하는 미국과 일본의 경우와 달리, 영국은 재료의 강도를 기준으로 하는 극한 한계상태와 허용응력을 기준으로 하는 사용 한계 상태에 대하여 각각 받침 구조가 안전하게 설계되도록 규정하고 있다.

이와 같은 부반력 발생 기구에 대처하는 받침에 관하여, 우리나라의 시방서 규정(도로교표준시방서 1992)은 활하중과 충격(R_{L+I})에 대하여 하중계수(2배)를 고려하는 방법의 부반력 조건 관계식이 미국과 일본의 경우와 유사하나, 추가적 조합가능의 하중은 모든 하중을 대상으로 하는 미국과는 달리 사하중 또는 풍하중을 추가 고려하여 계산하는 것으로 하고 있다.

3.3 부반력에 의한 받침 손상사례 조사

이 절에서는 국내·외의 받침 손상사례를 조사·분석하여 본 연구에서의 받침 구조상세 연구 방향을 설정하고자 한다.

3.3.1 국내의 받침 손상사례

국내 곡선교에서 받침 손상에 의해 교량이 낙교사고로 이어진 대표적인 손상 사례는 2001년 6월 15일에 발생한 신동IC RAMP A-2교의 전도·붕괴사고이다.

1) 사고개요

사고 경위로는 2001년 6월 15일 한 대의 벌크시멘트트레일러가 신동IC RAMP A-2교를 통과한 직후 상부구조가 곡선반경 외측방향으로 전도되어 교량이 낙교 되었다. 그림 3-13은 신동IC RAMP A-2교 낙교 전경이다.



그림 3-13 신동IC RAMP A-2교 낙교 전경

2) 붕괴경로

그림 3-14는 신동IC RAMP A-2교량의 평면도를 나타낸 것이다. 대상 교량의 낙교 원인 가운데 받침부 손상에 대한 개요는 다음과 같다.

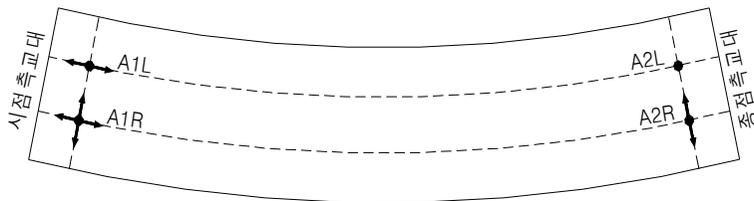


그림 3-14 신동IC RAMP A-2교량의 평면도

사고 원인 조사에 의하면 받침부 파손 순서는 먼저 내측 종점부 고정단인 A2L 지점의 파손에 의해 받침 기능을 상실한 후 내측 시점 교축방향 가동단인 A1L 받침부의 기능 상실에 의해 교량이 전도된 것으로 조사되었다.

① 종점부의 소켓 매입부 파손

고정단인 내측 종점부의 상세한 파손 과정은 그림 3-15와 같다.

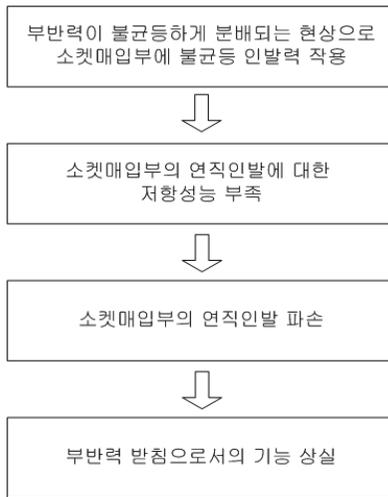


그림 3-15 내측 종점부의 소켓 매입부 파손과정

사고 직후 내측 종점부의 소켓 매입부 파손사진은 그림 3-16과 같다.



(a) 통재로 인발된 소켓 매입부



(b) 받침 콘크리트 파괴면

그림 3-16 사고 직후 내측 종점부의 소켓 매입부 파손 사진

② 시점부의 앵커볼트 파단

교축방향 가동단인 내측 시점부의 앵커볼트 파단 과정은 그림 3-16과 같다.

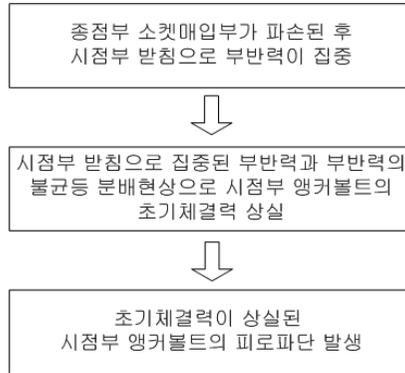


그림 3-17 내측 시점부 앵커볼트의 파단 과정

사고 직후 내측 시점부의 상황은 그림 3-18과 같다.



(a) 내측 시점부의 강박스부



(b) 내측 시점부의 교대부



(c) 내측 시점부 앵커볼트의 파단 사진

그림 3-18 사고 직후 내측 시점부의 상황

3) 결론

신동IC RAMP A-2교는 상시 부반력을 받는 내측 지점 중 어느 하나가 파괴 되면 붕괴되도록 여유성이 전혀 없는 단순 곡선교로 계획된 것이 교량 붕괴의 근본적인 원인이 되었고, 시·중점 부반력 받침의 파손을 유발시킨 부반력의 불균등 분배현상이 발생된 이유는 전술했듯이 그림 2-9처럼 부반력 발생 시 교량 상부구조의 단부 회전거동에 영향을 받은 부반력 받침 상부판이 기울어진 채 위로 들리며 사이드블럭과 날개판의 특정 접촉점을 통하여 부반력을 전달하기 때문이다. 그러므로 이러한 부반력에 대한 안전성 확보를 위해서는 엄밀하게 부반력을 검토하여 받침 간격 B를 크게 하는 그림 3-19와 같은 아웃트리거(Outrigger)방식을 사용하여 상시 부반력을 받지 않도록 하는 것이 필요하다. 대상교량의 부반력을 평가하고 받침 내의 앵커볼트에 불균등하게 작용하는 인발력을 산출해서 균등하게 작용할 때 보다 어느 정도의 안전율을 고려해야 하는지 결정하는 것이 중요하다고 판단된다.

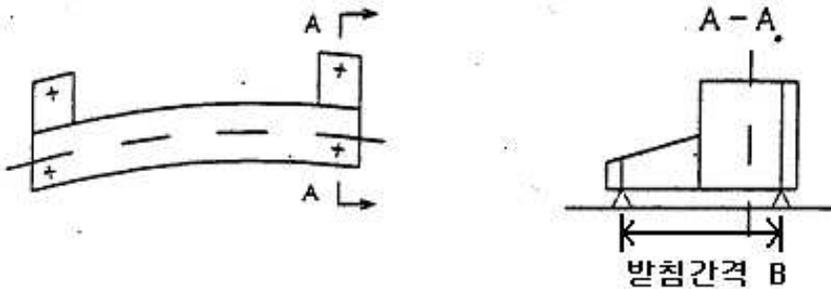


그림 3-19 아웃트리거(Outrigger) 방식

3.3.2 국외의 받침 손상사례

국외의 받침 손상사례로서 일본 阪神고속도로에서 부반력 발생에 의한 손상 사례를 조사하였다.

공항 하행선으로 西梅田공원을 횡단하는 지점에 위치하는 空 P27~P30은 3경간연속 곡선강바닥판 1박스거더형식이다.(1967년 10월 준공) 본 노선은 伊丹공항과 大阪市内阪神고속 환상선을 연결하는 중요한 노선이다. 그림 3-20에 일 반도를 나타내었다.

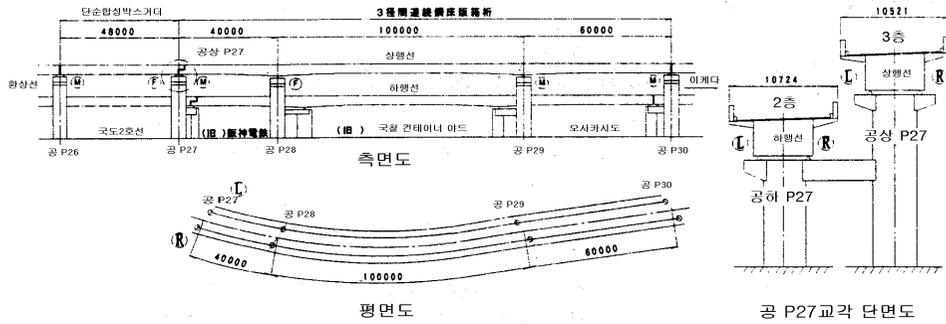


그림 3-20 空 P27~P30 일반도

본 교량의 특징은 입지조건에 제약 때문에 변칙적인 경간비를 가지며, 또 空 P27교각 위에서 극단적인 사각을 갖는 곡선교로 설계 당시부터 단부지점(空 P27)에 상시 부반력이 발생하는 구조로 주의가 필요한 교량이다. 空 P27에 발생하는 반력은 모형실험 등을 실시하여 대폭 수정계산이 실시되었다. 또 선형구간의 단순교와 연속교 및 교각을 PC 강봉으로 연결하여 부반력에 대한 조치가 실시되었다. (그림 3-21 참조)

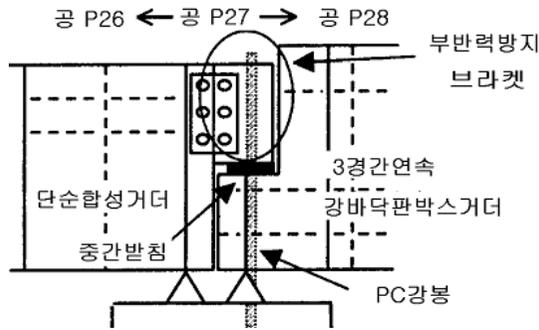


그림 3-21 空 P27 연결부 구조

그러나 1977년 도로 순찰 중에 지점에서 충격음 발생이 확인되어 조사 결과 받침에 국부적 손상이 확인되었다. 공항방향 상행 P27(상행선 3층), 공항방향 하행 P27(하행선 2층) 모두 R측(곡선 외측) 받침 베어링 플레이트가 파손되어 충격음이 공항방향 하행 P27 받침에서 발생한 것이었다.

이것은 부반력을 받는 베어링플레이트와 네오펠렌고무가 이동과 회전기능 때문에 반복 편심하중을 받아 파손된 것으로 보고되고 있다.

4장. 곡선 강교량 받침부의 구조적 특성을 위한 구조해석

이 장에서는 예기치 않은 하중에 의해 전도의 위험 가능성이 있는 단경간 곡선 강교량에 대해 상세구조해석을 실시하였다. 대상교량은 2001년 6월 15일에 전도·낙교된 신동IC RAMP A-2교이다. 우선 대상교량의 정확한 부반력을 평가하고 부반력이 받침 내의 앵커볼트에 불균등하게 작용하는지를 검토한 후, 받침 설계 시 앵커볼트에 발생하는 인발력의 안전율을 제시하고자 한다. 그리고 받침 내의 초기유격 조건에 따라 부반력이 어떠한 경향을 나타내는지 규명하여 설계에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

4.1 곡선 강교량의 반력 평가

이 절에서는 대상교량의 구조해석을 수행하여 본 연구에 사용된 모델과 기존 보고서의 모델을 비교·분석하여 타당성을 검증한 후 곡선교의 정확한 부반력을 평가하고 설계당시의 시방기준(도로교표준시방서,1992)으로 계산한 부반력과 현행시방기준(도로교설계기준,2000)에 의해 계산된 부반력을 비교·평가한다.

4.1.1 대상교량의 제원

(1) 교량제원

대상교량의 제원은 표 4-1과 같다.

표 4-1 대상교량의 제원

구 분	대상교량의 제원
교량형식	단순 강박스거더(2-box) 곡선교
교량지간	L=50.0m (단경간)
곡선반경	R=125.0m
횡단구배	S=6%
총 폭 원	B=7.5m (1차선)
받침형식	포트받침 <ul style="list-style-type: none"> ┌ 곡선외측 정반력 : 500tonf ├ 곡선내측 정반력 : 250tonf └ 곡선내측 부반력 : 50tonf

(2) 재료

대상교량의 재료 특성은 표 4-2와 같다.

표 4-2 대상교량의 재료 특성

구 분	바닥판 콘크리트	강 재
설계기준강도(kgf/cm^2)	270.0	SM490
탄성계수(kgf/cm^2)	2.46×10^5	2.1×10^6
단위중량(ton/m^3)	2.5	7.85
Poisson's ratio	0.16	0.3

(3) 횡단면도

대상교량의 횡단면도는 그림 4-1과 같다.

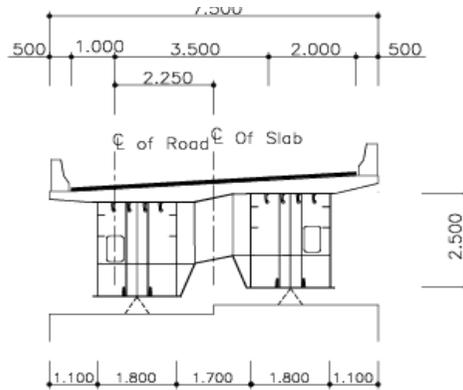


그림 4-1 대상교량의 횡단면도

(4) 평면도 및 받침의 배치도

대상교량의 평면도와 받침의 배치도는 그림 4-2와 같다.

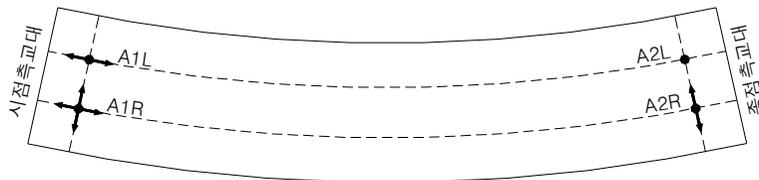


그림 4-2 대상교량의 평면도 및 받침 배치도

(5) 단면 변화도

교량의 단면제원 변화위치는 그림 4-3과 같다.

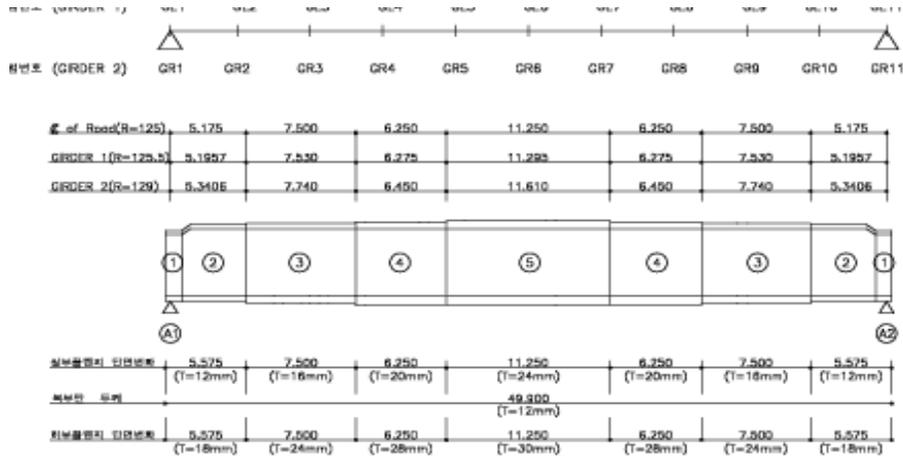


그림 4-3 교량의 단면 변화도

4.1.2 하중 조건

강재 거더는 모델에 사용된 강성을 기준으로 하여 프로그램 내에서 자동계산 하여, 설계도면상의 강재 총 중량에 대응하는 활중률을 적용하였으며, 콘크리트는 자중, 포장은 면하중으로 재하하였고, 방호벽은 자중을 계산하여 도심에 선하중으로 재하하였다.

(1) 활하중

① 트럭하중

트럭하중은 DB24(전륜하중-2.4tonf, 후륜하중-9.6tonf)하중을 교량 시점부, 중간부, 종점부로 나누어 1차선과 2차선으로 각각 재하하였다. DB24 하중의 재하도는 그림 4-4와 같다.

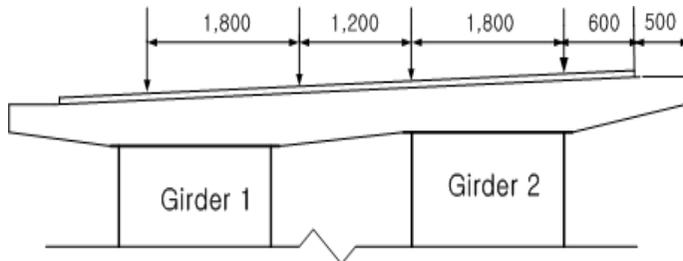


그림 4-4 DB24 하중의 재하도

② 차선하중

차선하중은 DL24(w=1.27tonf/m, Ps=15.6tonf/m)하중을 w는 3m폭으로 1차선과 2차선으로 재하하였고, Ps는 교량 시점부, 중간부, 종점부로 나누어 각각 재하하였다. DL24 하중의 재하도는 그림 4-5와 같다.

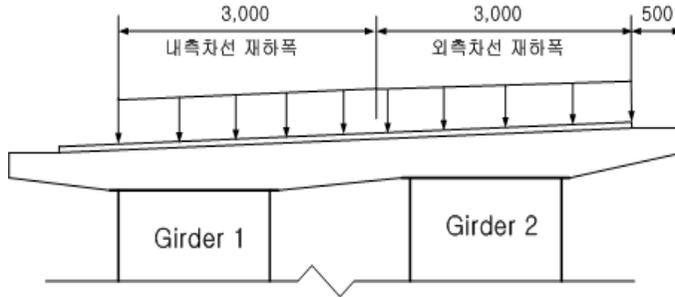


그림 4-5 DL24 하중의 재하도

(2) 원심하중

원심하중은 도로교표준시방서(1992) 규정에 따라 식 (4-1)을 사용하였다.

$$CF = 0.79 \frac{V^2}{R} (\%) \quad (4-1)$$

설계속도 60km/hr와 곡선반경 내측차선 126.0m, 외측차선 129.0m을 적용하여 DB24 하중의 백분율로 교면상 1.8m의 높이에 재하하였다. 원심하중도 DB24와 동일하게 시점부, 중간부, 종점부로 나누어 각각 재하하였다. 표 4-3 및 그림 4-6에 원심하중의 수평력과 재하 형태를 나타내었다.

표 4-3 원심하중에 의한 수평반력

구분	V=60km/hr		원심하중	=	수평하중	+	모멘트하중
	외측차선	내측차선					
	22.047%	22.571%		=		+	
전륜하중	1.058tonf	1.083tonf					
후륜하중	4.223tonf	4.334tonf					

그림 4-6 원심하중의 재하 형태

(3) 풍하중

풍하중은 교량 내측에서 외측 방향으로 면하중으로 재하하였으며, 차량에 작용하는 풍하중은 교면상 1.5m 높이에 수평하중으로 재하하였다. DB24 하중의 차량에 작용하는 풍하중은 도로교표준시방서(1992)에 규정한 대로 150kgf/m를 재하하였으며, DL24 하중의 차량작용 풍하중은 방호벽이 높아 상대적으로 영향이 적으므로 고려하지 않았다.

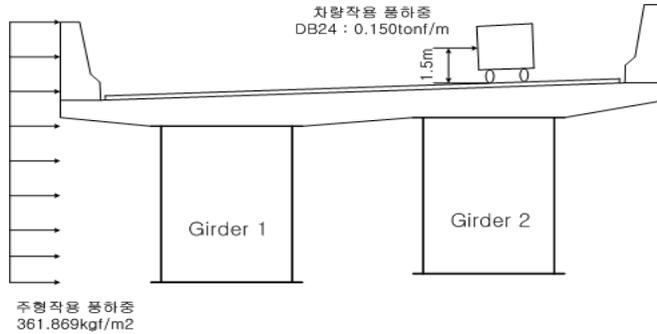
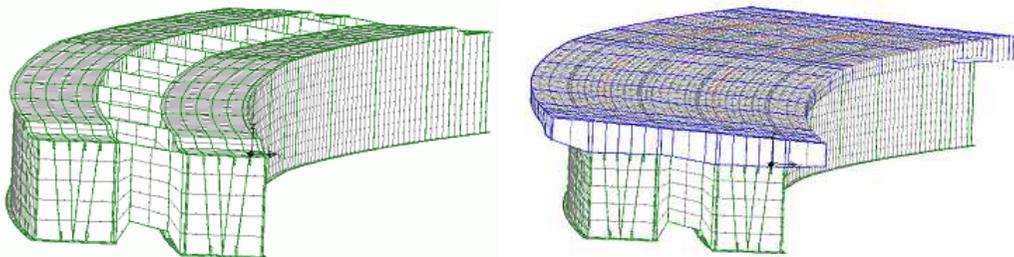


그림 4-7 풍하중의 재하도

4.1.3 해석모델과 반력평가

(1) 적용모델 및 하중재하도

실구조물을 가장 근사적으로 모사할 수 있는 3차원 모델을 사용하였으며, 바닥 콘크리트는 솔리드요소(HX20) 2200개를 사용하였고, 강재 거더는 쉘요소(QSL8) 6680개를 사용하여 구성하였다. 구조해석은 범용구조해석 프로그램인 LUSAS 13.5-9를 사용하여 수행하였다. 그림 4-8은 합성전과 합성후의 모델링 형상을 나타내며, 그림 4-9는 바닥판 콘크리트 형상을, 그림 4-10~4-13은 각 하중 조건의 재하도를 나타낸다.



(a) 합성전

(b) 합성후

그림 4-8 모델 형상

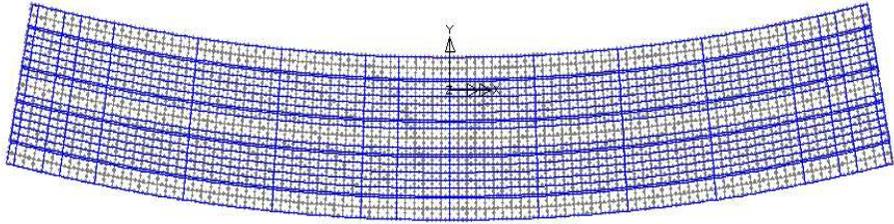


그림 4-9 바닥판 콘크리트 형상

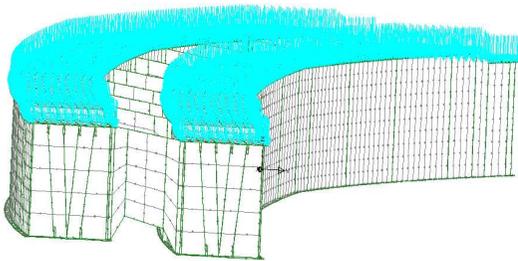


그림 4-10 바닥판 콘크리트 하중

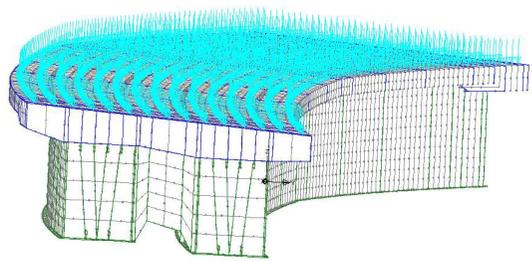


그림 4-11 포장 및 방호벽 하중

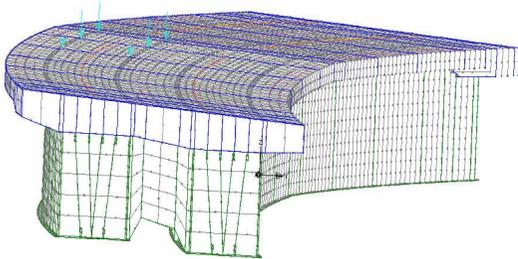


그림 4-12 DB24 하중

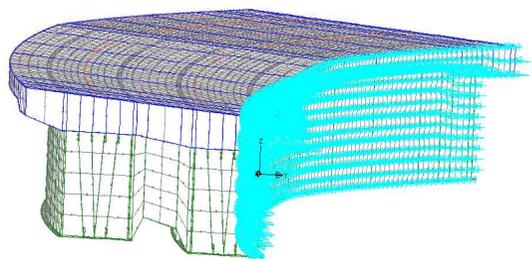


그림 4-13 풍하중

(2) 해석결과

① 지점반력

각 하중 조건에 대한 지점의 연직반력을 표 4-4 에 나타내었다.

표 4-4 각 하중에 대한 지점 연직반력

구분			A1(tonf)		A2(tonf)		총반력 (tonf)	
			A1L	A1R	A2L	A2R		
고정하중	Steel	일반조건	0.73	89.38	0.66	89.48	180.25	
		부반력조건	-6.60	79.88	-6.43	80.87	147.72	
	Concrete	일반조건	4.14	169.58	4.06	169.77	347.55	
		부반력조건	-11.20	156.36	-11.27	156.54	290.43	
	After	일반조건	2.06	67.70	-0.86	70.45	139.35	
		부반력조건	-6.94	65.23	-10.25	68.35	116.39	
활하중	DB	1차선	시점부	-3.40	50.58	-5.93	9.16	50.41
			중간부	-17.23	43.92	-19.98	43.70	50.41
			종점부	-7.18	13.28	-8.91	53.22	50.41
		2차선	시점부	30.08	64.18	-5.00	11.57	100.83
			중간부	-12.50	65.82	-17.37	64.88	100.83
			종점부	-6.92	19.18	18.64	69.94	100.84
	DL	1차선	시점부	-16.06	72.77	-21.12	59.32	94.91
			중간부	-23.05	70.63	-27.55	74.86	94.89
			종점부	-17.68	56.08	-19.45	75.93	94.88
		2차선	시점부	13.71	98.63	-5.95	81.60	187.99
			중간부	-6.89	101.03	-11.72	105.58	188
			종점부	-2.38	78.23	10.17	101.98	188
원심력 (V=60 km/h)	1차선	시점부	-13.72	13.59	-2.92	3.05	0	
		중간부	-8.36	8.36	-9.26	9.25	-0.01	
		종점부	-2.96	3.05	-13.79	13.70	0	
	2차선	시점부	-27.26	27.00	-5.87	6.14	0.01	
		중간부	-16.63	16.64	-13.78	13.70	-0.07	
		종점부	-5.95	6.11	-27.30	27.13	-0.01	
풍하중	주형에 작용하는 풍하중		-20.35	20.27	-26.30	26.38	0	
	차량에 작용하는 풍하중	1차선	시점부	-11.42	11.37	-13.47	13.52	0
			중간부	-10.92	10.88	-14.05	14.09	0
			종점부	-10.42	10.39	-14.46	14.49	0
	2차선	시점부	-12.62	12.56	-13.78	13.84	0	
		중간부	-11.64	11.60	-14.92	14.96	0	
종점부		-10.67	10.64	-15.71	15.73	-0.01		

하중 재하위치 - 시점부 : A1, 중간부 : 시간중앙, 종점부 : A2

표 4-4에 나타낸 것과 같이 합성전 고정하중인 강재자중과 콘크리트자중의 일반조건일 때 반력은 부반력이 발생하지 않으나, 합성후 고정하중인 포장 및 방호벽하중의 일반조건일 때 반력은 내측 종점부의 고정단인 A2L에서 부반력이 발생하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 합성전 구조계는 폐합단면으로서 뒤틀림의 영향이 적으나, 합성후 구조계에서는 콘크리트 슬래브가 플랜지 역할을 하는 개단면형상(II)을 지니기 때문에 뒤틀림의 영향이 크게 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

그리고 DB24 하중과 DL24 하중은 1차선 중간부에 하중이 작용할 때 A2L에서 최대 부반력이 발생하였으며 원심하중은 2차선 종점부에 하중이 작용할 때 A2L에서 최대 부반력이 발생하였다. 풍하중은 주형에 작용하는 풍하중의 조건일 때 A2L에서 최대 부반력이 발생하였다.

② 각 모델별 반력 비교

본 논문의 해석에 적용된 모델의 검증을 위하여 기존연구I(강구조학회 2001)에서 사용된 모델(뼈대구조, 셸+솔리드)과 기존연구II(한양대 2004)에서 사용된 모델(셸+솔리드), 기존연구III(강구조학회 유사 한양대 모델 2004)에서 사용된 모델(셸+솔리드), 그리고 본 연구에서 사용된 해석 모델에 대하여 강제 거더 자중, 콘크리트 자중, 합성 후 고정하중(포장, 방호벽)에 대한 반력 값을 비교·검토하였다. 각 모델의 하중 재하 단계별 반력을 표 4-5~표 4-8에 나타내었다.

표 4-5 각 모델별 강제 거더 자중에 의한 연직반력

모델의 종류		A1(tonf)		A2(tonf)		총반력 (tonf)
		A1L	A1R	A2L	A2R	
A	뼈대구조	0.92	87.19	0.36	87.71	176.18
	셸+솔리드	1.33	88.90	1.26	89.00	180.49
B	셸+솔리드	2.60	87.00	0.70	89.00	179.30
C	셸+솔리드	1.34	88.20	1.17	88.54	179.25
본 연구	셸+솔리드	0.73	89.38	0.66	89.48	180.24

A : 기존연구I, B : 기존연구II, C : 기존연구III

표 4-6 각 모델별 콘크리트 자중에 의한 연직반력

모델의 종류		A1(tonf)		A2(tonf)		총반력 (tonf)
		A1L	A1R	A2L	A2R	
A	뼈대구조	8.44	165.03	7.42	165.96	346.85
	셸+솔리드	4.28	169.00	4.19	169.00	346.47
B	셸+솔리드	5.94	167.56	2.17	171.25	346.92
C	셸+솔리드	4.47	168.91	4.03	169.51	346.92
본 연구	셸+솔리드	4.14	169.58	4.09	169.77	347.82

A : 기존연구I, B : 기존연구II, C : 기존연구III

표 4-7 각 모델별 포장 및 방호벽에 의한 연직반력

모델의 종류		A1(tonf)		A2(tonf)		총반력 (tonf)
		A1L	A1R	A2L	A2R	
A	뼈대구조	3.05	68.68	-2.30	73.69	143.12
	셸+솔리드	2.73	69.30	-2.26	74.10	143.87
B	셸+솔리드	3.88	79.62	-2.94	86.08	166.64
C	셸+솔리드	3.19	68.80	-2.71	74.38	143.66
본 연구	셸+솔리드	2.06	67.69	-0.86	70.45	139.34

A : 기존연구I, B : 기존연구II, C : 기존연구III

표 4-8 각 모델별 전체 고정하중에 의한 연직반력

모델의 종류		A1(tonf)		A2(tonf)		총반력 (tonf)
		A1L	A1R	A2L	A2R	
A	뼈대구조	12.41	320.90	5.48	327.36	666.15
	셸+솔리드	8.34	327.20	3.19	332.10	670.83
B	셸+솔리드	12.42	334.18	-0.07	346.33	692.86
C	셸+솔리드	9.00	325.91	2.49	332.43	669.83
본 연구	셸+솔리드	6.92	326.66	3.88	329.70	667.16

A : 기존연구I, B : 기존연구II, C : 기존연구III

표 4-5와 표 4-6에 나타난 것과 같이 합성전 고정하중인 강제자중과 콘크리트자중의 반력은 4개의 모델 모두 비슷한 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 표 4-7에 나타난 것과 같이 포장 및 방호벽에 의한 연직반력의 총합의 차이가 많이 발생한 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 방호벽 하중에 대해서 A, B 및 C모델의 경우 실제 시공된 방호벽을 적용하였으나, 본 연구 모델은 설계도면상의 방호벽을 적용하고, 포장하중에 대해서는 A와 B 모델의 경우는 설계 값 보다 작은 0.114tonf/m^2 를 적용하였으나, C와 본 연구 모델의

경우는 설계 값 0.184tonf/m²를 적용하였기 때문이다.

표 4-8에 나타낸 것과 같이 각 모델별 전체 고정하중을 비교해 보면 B모델에서는 고정하중에 의해 내측 종점부의 고정단인 A2L지점에서 부반력이 발생하였고, 내측 시점부의 교축방향 가동단인 A1L지점과의 반력 차이가 가장 큰 것으로 나타났다. 본 연구 모델에서 A1L지점과 A2L지점과의 반력 차이가 가장 작은 것으로 나타났다.

③ 하중조합에 따른 지점반력

반력계산을 위한 하중조합은 사용하중 상태의 일반조건과 시방서 기준에 의한 부반력 조건으로 구분하여 각 경우에 대하여 지점의 반력을 계산하였다. 대상교량이 설계된 당시의 설계기준인 도로교표준시방서(1992)의 부반력 조건과 현행 설계기준인 도로교설계기준(2000)과 동일한 일본의 식을 비교하였다. 표 4-9에 일반조건과 국가별 부반력 조건 하중조합에 대해 나타내었다.

표 4-9 일반조건과 국가별 부반력 조건 하중조합

구 분	하중조합	증가계수
일 반 조 건	① 주하중+주하중에 해당하는 특수하중(원심하중)	1.00
	② 주하중+주하중에 해당하는 특수하중(원심하중)+풍하중	1.25
	③ 고정하중+풍하중	1.20
	④ 고정하중+지진의 영향	1.50
부 반 력 조 건	⑤ $R = 2R_{L+I} + R_{D1} + \frac{R_{D2}}{1.5}$	1.00
	⑥ $R = 2R_{L+I} + R_{D1} + \frac{R_{D2}}{1.5} + R_W$	1.25
	⑦ $R = R_{D1} + \frac{R_{D2}}{1.5} + R_E$	1.50
	⑧ $R = 2R_{L+I} + R_D$	1.00
	⑨ $R = R_D + R_W$	1.20

i) 일반조건에 대한 하중조합

일반조건에 대한 연직반력을 표 4-10에 나타내었다.

표 4-10 일반조건에 대한 연직반력

하중조합 (활하중은 충격계수 포함)			A1(tonf)		A2(tonf)		허용응력 증가계수
			A1L	A1R	A2L	A2R	
① 고정하중+ 활하중(DB24)+ 원심하중	1차선	지점부	-10.19	390.83	-4.99	341.91	1.00
		중양부	-18.66	378.94	-25.38	382.65	
		종점부	-3.21	342.99	-18.84	396.62	
	2차선	지점부	9.75	417.84	-7.01	347.41	
		중양부	-22.20	409.12	-27.29	408.28	
		종점부	-5.94	351.95	-4.80	426.77	
① 고정하중+ 활하중(DL24)	1차선	지점부	-9.13	399.43	-17.26	389.02	1.00
		중양부	-16.12	397.29	-23.69	404.56	
		종점부	-10.75	382.74	-15.59	405.63	
	2차선	지점부	20.64	425.29	-2.09	411.30	
		중양부	0.04	427.69	-7.86	435.28	
		종점부	4.55	404.89	14.03	431.68	
② 고정하중+ 활하중(DB24)+ 원심하중+ 풍하중(50%)	1차선	지점부	-17.29	321.76	-14.77	284.34	1.25
		중양부	-23.66	311.86	-31.54	317.39	
		종점부	-10.90	282.70	-26.64	328.89	
	2차선	지점부	-2.30	344.32	-16.63	289.00	
		중양부	-27.07	336.58	-33.77	338.59	
		종점부	-13.29	290.07	-16.41	354.00	
② 고정하중+ 활하중(DL24)+ 풍하중(50%)	1차선	지점부	-16.44	328.64	-24.58	322.04	1.25
		중양부	-21.63	326.53	-30.20	334.92	
		종점부	-16.93	314.50	-24.04	336.10	
	2차선	지점부	6.42	350.28	-12.70	340.12	
		중양부	-9.28	351.43	-18.23	360.19	
		종점부	-4.90	332.42	-1.34	357.93	
③ 고정하중+풍하중			-11.18	289.11	-18.70	296.74	1.20

ii) 부반력 조건에 대한 하중조합

부반력 조건에 대한 연직반력을 표 4-11에 나타내었다.

표 4-11 부반력 조건에 대한 연직반력

하중조합 (활하중은 충격계수 포함)			A1(tonf)		A2(tonf)		허용응력 증가계수
			A1L	A1R	A2L	A2R	
⑤ 고정하중+ 2×활하중(DB24)	1차선	지점부	-31.54	402.63	-39.81	324.08	1.00
		중앙부	-59.20	389.31	-67.91	393.16	
		종점부	-39.10	328.03	-45.77	412.20	
	2차선	지점부	35.42	429.83	-37.95	328.9	
		중앙부	-49.74	433.11	-62.69	435.52	
		종점부	-38.58	339.83	9.33	445.64	
⑤ 고정하중+ 2×활하중(DL24)	1차선	지점부	-56.86	447.01	-70.19	424.40	1.00
		중앙부	-70.84	442.73	-83.05	455.48	
		종점부	-60.10	413.63	-66.85	457.62	
	2차선	지점부	2.68	498.73	-39.85	468.96	
		중앙부	-38.52	503.53	-51.39	516.92	
		종점부	-29.5	457.93	-7.61	509.72	
⑥ 고정하중+ 2×활하중(DB24) +풍하중(50%)	1차선	지점부	-34.37	331.20	-42.62	270.08	1.25
		중앙부	-56.10	320.15	-65.57	325.80	
		종점부	-39.62	270.74	-48.49	341.35	
	2차선	지점부	18.24	353.91	-41.38	274.20	
		중앙부	-49.11	355.77	-62.09	360.38	
		종점부	-39.40	280.38	-5.11	369.09	
⑥ 고정하중+ 2×활하중(DL24) +풍하중(50%)	1차선	지점부	-54.62	366.71	-66.93	350.34	1.25
		중앙부	-65.41	362.89	-77.68	375.65	
		종점부	-56.42	339.22	-65.05	377.69	
	2차선	지점부	-7.96	409.03	-42.91	386.24	
		중앙부	-40.13	412.10	-53.05	425.50	
		종점부	-32.13	374.85	-18.66	420.36	
⑧ 고정하중+ 2×활하중(DB24)	1차선	지점부	0.13	427.82	-8.00	348.02	1.00
		중앙부	-27.53	414.50	-36.10	417.10	
		종점부	-7.43	353.22	-13.96	436.14	
	2차선	지점부	67.09	455.02	-6.14	352.84	
		중앙부	-18.07	458.30	-30.88	459.46	
		종점부	-6.91	365.02	41.14	469.58	
⑧ 고정하중+ 2×활하중(DL24)	1차선	지점부	-25.19	472.20	-38.38	448.34	1.00
		중앙부	-39.17	467.92	-51.24	479.42	
		종점부	-28.43	438.82	-35.04	481.56	
	2차선	지점부	34.35	523.92	-8.04	492.90	
		중앙부	-6.85	528.72	-19.58	540.86	
		종점부	2.17	483.12	24.20	533.66	
⑨ 고정하중+풍하중			-11.18	289.11	-18.70	296.74	1.20

하중조합에 따른 지점반력의 결과는 다음과 같다.

표 4-10에 나타낸 것과 같이 일반 조건에 대해서 가장 큰 부반력이 발생하는 하중 조합은 DB24 하중을 고려한 ②의 하중조합인 것을 알 수 있다. 내측 시점부의 교축방향 가동단인 A1L지점과 내측 종점부의 고정단인 A2L지점의 부반력 값은 설계 부반력인 -50tonf(신동IC RAMP A-2교 준공도면 2000)에 미치지 않는 것을 알 수 있다.

받침에 부의 반력이 작용하면 예기치 않은 응력 발생 등 구조물의 안전에 예상할 수 없는 문제 발생의 우려가 있어 실하중의 사용하중 수준보다 다소 불리한 조건으로 받침을 설계하도록 도로교준시방서(제I편 5.1.2)는 규정하고 있다.

이와 같은 규정 내용을 기준으로 반력을 계산한 결과, 표 4-11에 나타낸 것과 같이 설계 당시의 시방기준인 도로교표준시방서(1992)의 경우가 현행 시방기준인 도로교설계기준(2000)의 경우보다 DB24 하중은 A1L의 경우 2.15배, A2L의 경우 1.88배 정도 큰 값이 나왔고, DL24 하중은 A1L의 경우 1.81배, A2L의 경우 1.62배 정도 큰 값이 나왔다. 또한 4.2.4의 실제 교량을 가장 유사하게 모사한 비선형 해석(강재, 콘크리트, 포장, 방호벽, DB24, 원심하중)으로 얻어진 반력과 비교해 보면 DB24 하중을 기준으로 도로교표준시방서(1992)로 계산한 반력은 A1L의 경우 3.35배, A2L의 경우 3.85배 정도 큰 값이 나왔고, 도로교설계기준(2000)으로 계산한 반력은 A1L의 경우 1.56배, A2L의 경우 2.05배 정도 큰 값이 나왔다.

이와 같은 결과는 대상교량의 설계 당시인 도로교표준시방서(1992)의 부반력 조건 계산결과에 대한 안전도 수준을 현행 시방기준인 도로교설계기준(2000)의 기준과 비교해 보면 과대평가된 것을 알 수 있다.

4.2 부반력 받침의 상세구조 해석

이 절에서는 4.1절에서 얻어진 결과로 실제 받침 내의 앵커볼트에 발생하는 불균등력에 대해서 해석한다. 받침은 『3.1.2의 5)』에서 기술한 것과 같이 포트받침을 대상으로 하였다.

4.2.1 부반력 받침의 거동

곡선반경 내측 지점에서 부반력이 발생하게 되는 곡률이 큰 곡선 강교량에서는, 내측의 부반력 받침부가 받침 지지부에서의 지압으로 저항하는 것이 아니라 상향으로 들리는 힘에 대하여 하부구조의 콘크리트 속에 매입된 인발저항 기구의 인장력으로 저항해야 하는 구조가 된다.

예를 들어 포트타입의 부반력 받침을 사용하는 경우에는 단부회전에 의해 사이드블럭이 경사진 상태로 위로 들리면서 특정부위의 접촉을 통해 하중이 전달 되기 때문에 지점에서 좌표를 달리하고 있는 4개의 앵커볼트의 기하학적 위치 조건과 지점에서 발생하는 교량구조의 교축 및 교축직각 방향의 회전의 영향으로 인해 그림 4-14와 같이 부반력 받침 당 4개의 앵커볼트가 있다면 각 위치별로 균등하게 부반력을 부담하는 것이 아니라 특정한 위치의 앵커볼트가 가장 큰 부반력을 부담하게 된다.

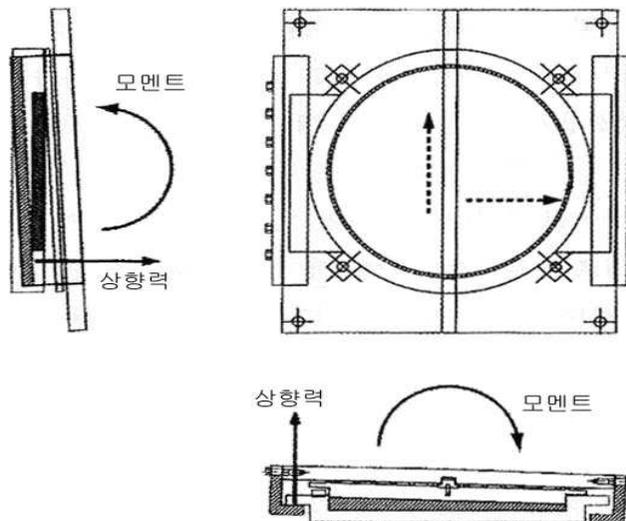


그림 4-14 포트받침 앵커볼트의 불균등 부반력 작용

이와 같은 현상은 그림 4-15와 같이 교량의 위를 주행하는 차량이 곡선 외측부 지간 중앙부근을 통과할 때 교량의 중앙에서 수직 하향으로 처짐이 발생하고, 이와 동시에 지점에서 발생하는 교축방향과 교축직각방향의 회전효과 때문에 나타나게 되는 곡선교의 기본적인 거동특성에 기인하고 있는 것이다.

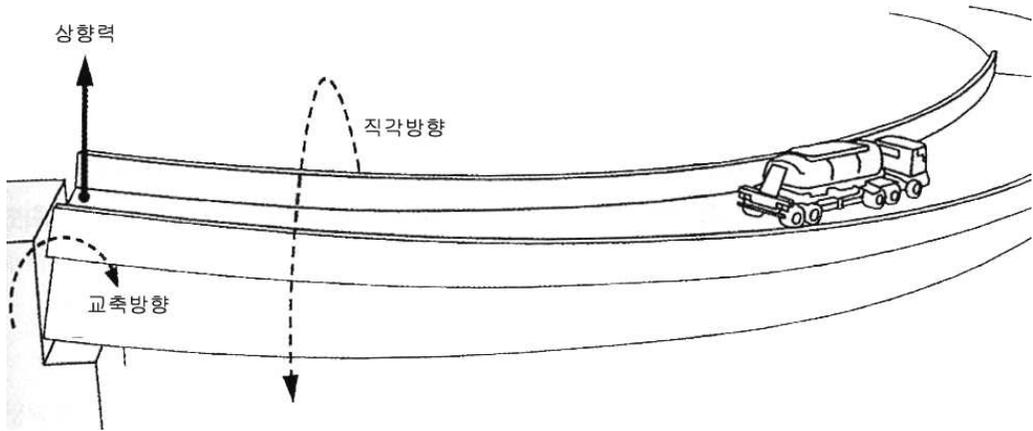


그림 4-15 곡선강교에서 발생하는 내측지점의 부반력

4.2.2 포트타입의 부반력 받침

부반력 받침용 비선형 해석모델은 현재 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 포트받침을 대상으로 하였다. 포트받침은 교대나 교각구조에 정착시킨 하부판(pot)을 원형의 용기로 만들어, 용기 내부에 고무판(Rubber disk)을 넣고, 고무판 위에 중간판(Deck plate)과 상부판(Sliding plate)을 얹은 구조로서 상부구조에 작용하는 하중을 하부구조에 전달하는 기능을 갖는다. 이 때 받침의 수평축에 대한 회전변위는 하부판 내 고무의 변형에 의해 가능하며, 수평변위는 중간판 위에 불소수지(PTFE)판을 붙이고 윤활유를 주입하여 상부판과 중간판 사이의 마찰계수를 감소시킴으로써 교축 및 교축직각방향에 대한 이동이 용이하도록 되어 있다.

하부판 내의 고무는 하중 전달시 용기의 구속압에 의해 유체처럼 작용하여 상부구조로부터 전달되는 연직방향의 하중을 하부판에 골고루 분포시키고, 큰 회전각을 얻을 수 있으며, 또한 받침의 높이도 낮아 회전에 대한 안전성이 크다. 이와 같은 장점 때문에 포트받침은 강박스 거더교, 플레이트거더교, PSC 거더교 및 슬래브교 등 여러 형식의 교량에 널리 사용되고 있는 받침형식이다.

4.2.3 부반력 포트받침의 구조해석

(1) 해석 목적

부반력용 포트받침은 정반력 받침에 단순히 부반력에 저항하기 위한 부재(부상방지턱, 사이드블럭, 날개판)를 추가로 배치함으로써 부반력을 지지하도록 받침구조가 형성되어 있을 뿐이므로 안전하고 효과적인 부반력 저항기구 마련이 충분하지 못하다고 할 수 있다. 그러므로 이와 같은 부반력용 포트받침에서는 부반력 작용 시 고무판 및 중간판에 어떠한 힘도 전달되지 않으며 오직 부상방지턱과 날개판의 접촉에 의해 부반력이 각각의 앵커볼트에 전달되게 된다.

따라서 활하중 재하 시 부반력이 발생하면 부상방지턱과 날개판 사이의 유격은 밀착되고 활하중 비재하 시 부반력이 발생하지 않으면 다시 유격이 형성되는 반복 작용에 의해 부상방지턱과 사이드블럭 접속부, 날개판과 하부판의 접속부에는 피로 파괴가 발생할 가능성이 있다. 또한 정반력 작용 시 하중을 골고루 분포시키는 고무판과 같은 완충부재가 없으므로 상부구조의 3차원적 거동에 의해 각각의 앵커볼트에는 불균등한 인발력이 작용할 수 있다. 이 절에서는 받침부의 상세 구조해석을 통해 앵커볼트의 불균등한 인발력을 조사하여 부반력 포트받침의 안정성 및 적정성을 검토하고자 한다.

(2) 부반력 포트받침의 해석모델

받침 해석은 일반적인 상부구조의 해석과는 달리 각각의 부재가 접촉하는 현상을 나타내기 위한 경계 비선형 해석(Contact Nonlinear Analysis)이 요구된다. 범용 구조해석 프로그램인 LUSAS는 초기 이격 부재의 접촉현상을 나타낼 수 있는 다양한 비선형 요소 및 기능을 가지고 있으므로 받침부의 비선형 거동을 충분히 모사할 수 있을 것으로 판단된다.

그림 4-16은 받침부의 전체적인 유한요소 모델을 나타낸 것이다. 받침의 상부판, 중간판, 하부판, 부상방지턱, 사이드블럭 및 날개판은 Thin Shell(QSI4)요소를 사용하였으며, 접촉을 나타내기 위한 요소로는 비인장 요소와 초기유격(initial gap)을 가진 Smooth Contact 요소를 사용하였다.

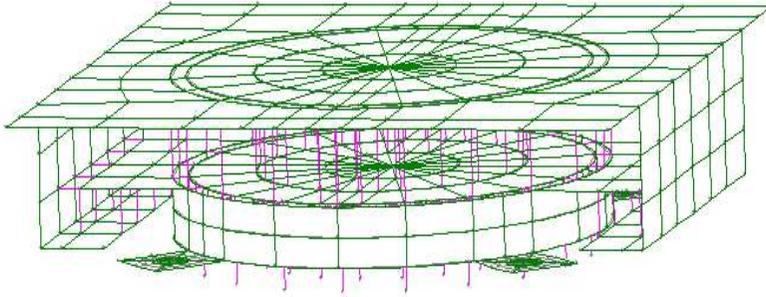


그림 4-16 포트받침의 유한요소 모델

받침부 각각의 부재에 대한 모델링 상세는 다음과 같다.

① 상부구조와 상부판의 연결

상부구조와 받침 상부판은 Rigid Beam을 사용하여 연결하였다. 이 연결 요소의 유한요소 모델은 그림 4-17과 같다. 상부구조와 상부판 사이에는 솔플레이트(Sole Plate)가 있으므로 상부구조의 솔플레이트(Sole Plate)가 접촉하는 부위와 상부판에 면의 휨이 발생하지 않는 것과 두 부재는 솔플레이트(Sole Plate)와 볼트에 의해 연결되어 있으므로 변형 시 변위성분($d_x, d_y, d_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$)의 값은 동일하다는 것을 의미하므로 상부구조의 솔플레이트(Sole Plate)와 접촉하는 부분과 상부판에 각각 Rigid Link를 부여하였다.

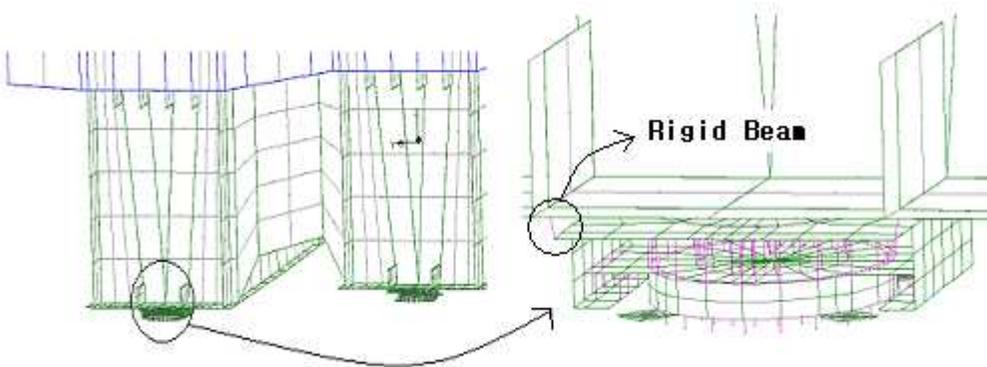


그림 4-17 상부구조와 상부판의 연결 유한요소 모델

② 상부판 및 부상방지턱

그림 4-18은 상부판과 부상방지턱의 유한요소 모델을 나타낸 것이다. 상부판과 부상방지턱은 Thin Shell 요소를 사용하였다.

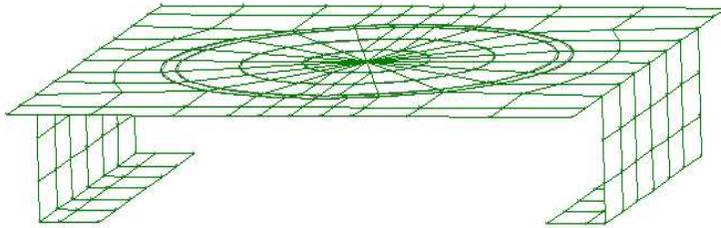


그림 4-18 상부판과 부상방지턱 유한요소 모델

③ 가동유도장치

가동유도장치와 상부판 사이의 유격은 0.8mm를 고려하여(그림4-19 참조) 초기 유격 0.8mm를 가진 Smooth Contact 요소를 사용하였다. 그림 4-20은 가동유도장치 유한요소 모델을 나타낸 것이다. 교축방향 가동단인 A1L은 교축직각방향으로, 교축직각방향 가동단인 A2R은 교축방향으로 각각 초기유격 0.8mm를 부여하였다. 전방향 가동단인 A1R에 대해서는 가동유도장치를 모사하는 Smooth Contact 요소를 사용하지 않아 전방향으로 가동이 가능하도록 하였다.

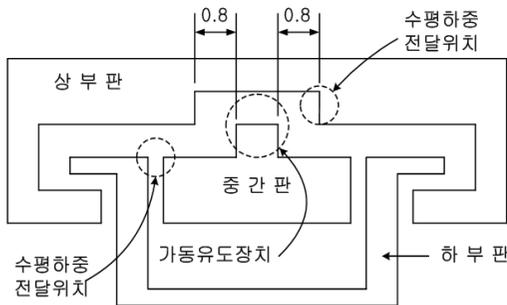


그림 4-19 가동유도장치와 상부판 사이의 유격

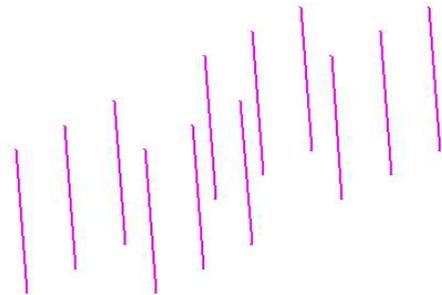


그림 4-20 가동유도장치 유한요소 모델

④ 상부판과 중간판의 연결

그림 4-21은 상부판과 중간판의 연결 유한요소 모델을 나타낸 것이다. 정반력 작용 시 상부판에 전달된 하중은 중간판으로 지압에 의해 전달되며, 부반력 작용 시 상부판과 중간판 사이에는 유격이 발생하여 하중이 전달되지 않는다. 따라서 비인장 스프링 요소를 사용하여 두 부재를 연결시켰다.

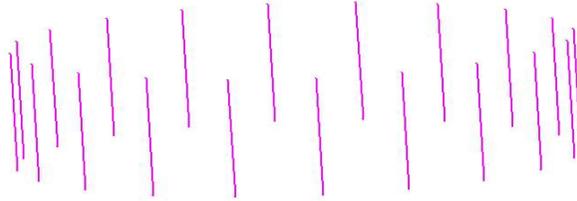


그림 4-21 상부판과 중간판의 연결 유한요소 모델

⑤ 중간판

그림 4-22는 중간판 유한요소 모델을 나타낸 것이다. Thin Shell 요소를 사용하였으며, 정반력 작용 시 고무판의 변형에 의해 중간판의 면외 휨은 발생하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 중간판에는 면외 휨을 방지하기 위한 Planar Surface를 부여하였다.

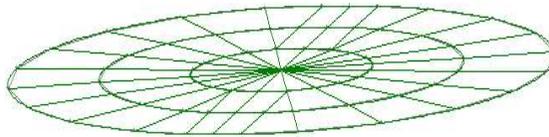


그림 4-22 중간판 유한요소 모델

⑥ 중간판과 하부판의 연결 및 고무판

정반력 작용 시 하중의 전달은 중간판과 고무판, 고무판과 하부판의 지압에 의해 전달되며, 부반력 작용 시 중간판과 고무판에는 어떠한 하중도 전달되지 않는다. 따라서 비인장 요소를 사용하여 중간판과 하부판을 연결하였으며, 스프링 상수로 고무판의 물리적 성질을 모사하였다. 포트받침과 같이 고무판이 하부판의 실린더 내에 있을 경우, 정반력 작용 시 실린더의 구속효과에 의해 고무판의 탄성계수

는 크게 증가한다. 이를 모사하기 위하여 고무의 체적탄성계수(Bulk Modulus)를 이용해 비인장 스프링 요소의 스프링 상수 값을 추정하였다.

따라서 이러한 고무판의 특성을 고려하기 위해 비인장 스프링 요소로 모델링할 때 필요한 강성은 다음과 같이 구할 수 있다.

㉔ 비인장 스프링 요소로서 스프링 강성을 구하기 위해서는 고무판의 물리적인 성질을 알 필요가 있다. 표 4-12는 영국 교량용 고무받침 기준(BS5400 1983)에서 제시하고 있는 고무의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

표 4-12 영국 교량용 고무받침 기준

경 도	탄성계수 Yonugs Modulus $E_o = (kgf/cm^2)$	전단탄성계수 Shear Modulus $G = (kgf/cm^2)$	경도보정계수	체적탄성계수 Bulk Modulus $E_b = (kgf/cm^2)$
45	18.4	5.5	0.80	20,000
50	22.4	6.5	0.73	
55	33.2	8.3	0.64	
60	45.4	10.8	0.57	
65	59.7	14.0	0.54	

고무판의 스프링 강성추정방법은 식 (4-2)와 같다.

$$\text{체적탄성계수 } E_b = \frac{P}{e} = \frac{P/A}{\Delta V/V} \tag{4-2}$$

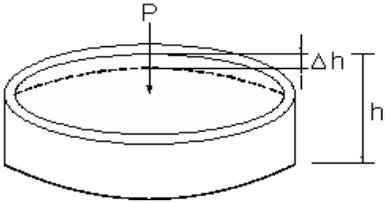
㉕ 하중 P 작용 시 실린더의 구속효과에 의해 고무판의 수평방향 변위는 없는 것으로 가정하면 수직하중 P 에 의한 수직방향의 변위 Δh 는 식 (4-3)과 같다.

$$\Delta h = \frac{h \cdot P}{E_b \cdot A} = \frac{h \cdot P}{20,000 \cdot A} \tag{4-3}$$

여기서, h : 고무판의 높이 A : 고무판의 면적

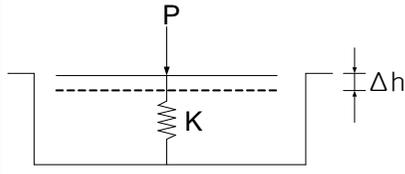
식 (4-3)에 의해 수직하중 P 에 의한 각 받침에서의 수직방향변위 Δh 는 다음 표 4-13과 같다.

표 4-13 수직하중 P 에 의한 고무판의 수직변위 Δh

구 분	곡선반경 내측받침	곡선반경 외측받침	
$P (kgf)$	100,000		
$A (cm^2)$	800	1500	
$h (cm)$	5	5	
$\Delta h (cm)$	0.031	0.017	

㉔ 이와 같이 수직하중 P 의 작용 시 계산된 수직방향의 변위 Δh 를 유발하는 스프링 강성을 찾기 위하여 받침모델에 수직하중 100,000 kgf 를 재하해 스프링 강성을 추정하였다. 산정된 각각의 받침에 대한 스프링 강성은 표 4-14와 같다.

표 4-14 회전중심축의 강성

구 분	곡선반경 내측받침		곡선반경 외측받침		
$P (kgf)$	100,000				
$\Delta h (cm)$	0.031	0.031	0.017	0.017	
K	3.3×10^5	3.3×10^5	6.0×10^5	6.0×10^5	

회전중심축 이외의 스프링에 대한 스프링 상수 값은 각각의 면적에 표 4-12에서 제시한 고무의 탄성계수를 곱하여 스프링 상수 값을 산정하였다. 그림 4-23은 중간판과 하부판의 수직연결 요소 모델링 상세를 나타낸다.

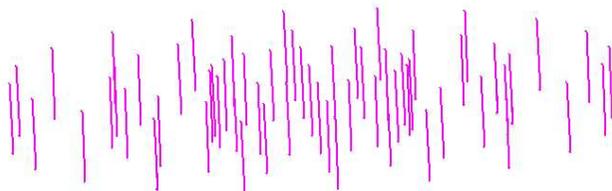


그림 4-23 중간판과 하부판 수직연결(고무판) 유한요소 모델

⑦ 중간판과 하부판 실린더 상면과의 연결

그림 4-19에 나타낸 것과 같이 받침 상면에 수평방향의 하중 작용 시 하중전달 경로는 상부판에서 가동유도장치에 의해 중간판에 전달되고, 중간판에 전달된 하중은 하부판 실린더 상면에 전달되며 이는 다시 각각의 앵커볼트로 전달되어 하부 구조로 전달되게 된다. 이를 모사하기 위하여 중간판과 하부판 실린더 상면을 비인장 스프링 요소로 연결하였으며, 그 형상은 그림 4-24와 같다. 이때 시공여유를 고려하기 위하여 0.25mm의 초기유격을 부여하였다.



그림 4-24 중간판과 하부판 실린더 상면과의 연결 유한요소 모델

⑧ 상부판과 하부판 실린더 상면과의 연결

그림 4-25는 상부판과 하부판의 실린더 상면과의 연결 유한요소 모델을 나타낸 것이다. 실제의 받침 구조에서는 상부판과 하부판이 접촉되지 않는다. 그러나 본 모델에서 두 부재를 연결시킨 이유는 본 연구 대상교량 포트받침의 허용 회전각 0.013rad을 고려하기 위해서이다. 따라서 연결 요소는 초기유격을 가진 Smooth Contact 요소를 사용하였으며, 부반력이 작용하는 경우 이 연결 요소는 비인장요소를 사용하였으므로 작용하지 않게 된다.

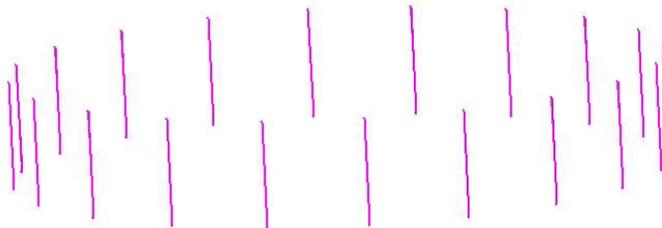


그림 4-25 상부판과 하부판 실린더 상면과의 연결 유한요소 모델

⑨ 날개판과 부상방지턱과의 연결

그림 4-26은 날개판과 부상방지턱의 연결 유한요소 모델을 나타낸 것이다. 부분력 작용 시 하중은 날개판과 부상방지턱 사이 유격의 밀착에 의해 전달된다. 정반력 작용 시 두 부재 사이의 유격은 열려 두 부재 사이에는 어떠한 하중도 전달되지 않는다. 따라서 두 부재의 연결은 시공여유 5mm를 고려한 Smooth Contact 요소를 사용하였다.



그림 4-26 날개판과 부상방지턱의 연결 유한요소 모델

⑩ 하부판과 날개판

그림 4-27은 하부판과 날개판의 유한요소 모델을 나타낸 것이다. 하부판과 날개판은 Thin Shell 요소를 사용하였다.

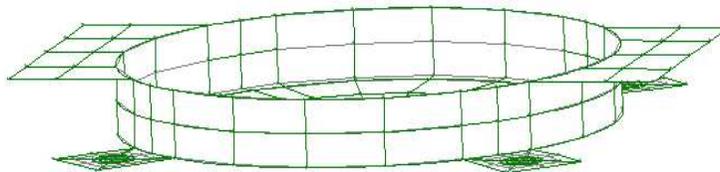


그림 4-27 하부판과 날개판 유한요소 모델

⑪ 모르타르 지지면

그림 4-28은 모르타르 지지면 유한요소 모델을 나타낸 것이다. 부분력 작용 시 하부판과 하부구조사이의 하중전달은 앵커볼트에 의해 이루어진다. 그러나 정반력 작용 시는 앵커볼트보다 하부판과 모르타르 지지면 사이의 지압에 의해 하중의 전달이 이루어진다. 이를 모사하기 위하여 하부판 하부에 비인장 스프링 요소를 연결하였으며 스프링의 하부 끝단에 연직방향만을 구속하는 경계조건을 부여하였다.

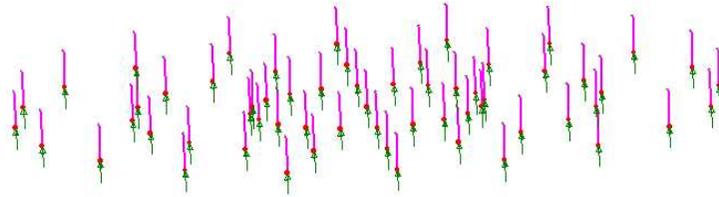


그림 4-28 모르타르 지지면 유한요소 모델

⑫ 경계조건 : 각각의 앵커볼트 위치에 local x , y 및 global Z 방향에 대한 변위 (d_x, d_y, d_z)를 구속하는 경계조건을 부여하였으며, 모르타르 지지면을 모사한 스프링의 끝단에 global Z 방향을 구속하는 경계조건을 부여하였다.

각 받침의 이동 기능 및 설정된 초기유격은 표 4-15에 나타내었다.

표 4-15 각 받침의 이동 기능 및 초기유격 설정

구 분		교축방향가동단	고정단	전방향가동단	교축직각방향가동단
이 동 기 능	교축방향	상부판↔중간판		상부판↔중간판	
	교축 직각방향			상부판↔중간판	상부판↔중간판
초 기 유 격	수평유격 ¹⁾	중간판↔하부판 (원심수평방향)	중간판↔하부판 (원심수평방향)	중간판↔하부판 (원심수평방향)	중간판↔하부판 (원심수평방향)
	수직유격 ²⁾	날개판↔부상방지턱 (상하방향)	날개판↔부상방지턱 (상하방향)		
	회전유격 ³⁾ (회전변위)	상부판↔하부판 (상하방향)	상부판↔하부판 (상하방향)	상부판↔하부판 (상하방향)	상부판↔하부판 (상하방향)
	가동 유도장치	상부판↔중간판 (교축직각방향)			상부판↔중간판 (교축방향)
1) 중간판과 실린더 사이 유격 : 0.25mm 2) 날개판과 부상방지턱 사이 유격 : 5mm 3) 상부판의 교축·교축직각방향에 대한 회전 변위 : 0.013rad 4) 가동유도장치와 상부판 사이의 유격 : 0.8mm					<u>실제 받침 및 받침 제작사에 대한 조사결과를 바탕으로 결정</u>

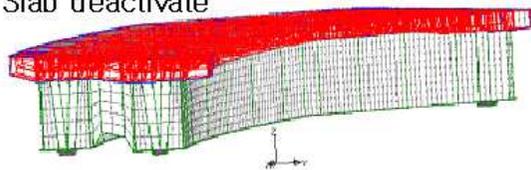
(3) 비선형 해석절차

일반적인 구조해석에서는 작용하중에 의한 반력 값 산출 시 각각의 하중재하에 대해 별도로 반력 값을 산출한 후 이를 중첩의 원리에 의해 단순히 더하여 계산된 값을 최종 반력 값으로 사용하고 있다. 그러나 강박스거더교와 같은 합성거더교의 비선형 해석에서는 합성전 하중에 의해 발생하는 중앙 점 처짐 값이 합성후 구조계에서 작용될 시의 처짐 값과 달라지게 된다. 이것은 합성후 구조계에 합성전 하중을 재하할 경우 받침의 실제 회전각이 달라져 받침의 하면에 발생하는 지압력의 실제 분포가 달라지기 때문이다. 또한 실제 구조물에서는 합성전 하중에 의해 받침 내부의 부재에서 변위가 발생하고 유격량이 달라진 상태에서 합성후 고정하중 및 활하중이 재하됨으로써 받침 내부에 2차, 3차 변위가 발생하며, 유격량도 달라지게 된다. 따라서 실제 구조물에 발생하는 반력의 정확한 산출을 위해서는 시공 단계를 고려한 단계별 구조계에 재하된 하중들이 재하 조건별로 구조계에 동시작용을 하게 되는 전과정의 일괄해석이 필요하다.

본 해석에서의 하중단계는 크게 합성전 하중단계와 합성후 하중단계로 나누었으며, 합성전 하중단계에서는 강박스거더의 자중과 콘크리트 슬래브 자중을 재하하였고, 합성후 단계에서는 포장 및 방호벽 하중, 활하중 및 원심하중(60km/hr)을 재하하였다. 그림 4-29는 비선형 해석 절차 5단계를 나타낸 것이다.

1단계 : 합성전, 합성후의 전체 구조계 모델링

2단계 : 완성구조계에서 합성전 단면만 활성화
Slab deactivate



3단계 : 합성전 단계의 하중재하
강박스 거더의 자중 + 바닥판 콘크리트 자중

4단계 : 바닥판의 활성화

5단계 : 합성후 단계의 하중재하
포장하중, 방호벽하중, 활하중(DL24)
원심하중(60km/hr)

그림 4-29 비선형 해석 절차

4.2.4 부반력 받침의 앵커볼트 불균등력 산정

곡선 교량의 구조적 특성에 의해 발생하는 곡선교 받침부의 실제적 거동을 반영하기 위하여 4.2.3절에서 기술한 비선형 받침모델을 사용한 단경간 곡선 강교량을 대상으로 받침부의 각 앵커볼트에 발생하는 불균등력을 산정하기 위해 받침부를 포함하는 곡선교량 전체 구조계를 사용하여 유한요소해석을 수행하였다. 각각의 앵커볼트에 발생하는 불균등 인발력을 비교하기 위해 단순지지조건의 점받침을 사용한 경우에 대해서도 해석을 수행하여 그 결과를 비교, 분석하였다.

(1) 앵커볼트의 위치

그림 4-30에 해석모델의 경계조건 및 각 지점별 앵커볼트의 위치를 나타내었다. 받침의 가동방향은 접선방향의 local 좌표계로 구성하였고 A1L은 교축방향 가동단, A1R은 전방향가동단, A2L은 고정단, A2R은 교축직각방향 가동단을 나타낸다. 또한 각 앵커볼트의 위치는 내측부의 시점측을 ①번으로 하여 반시계 방향으로 번호를 부여하였다.

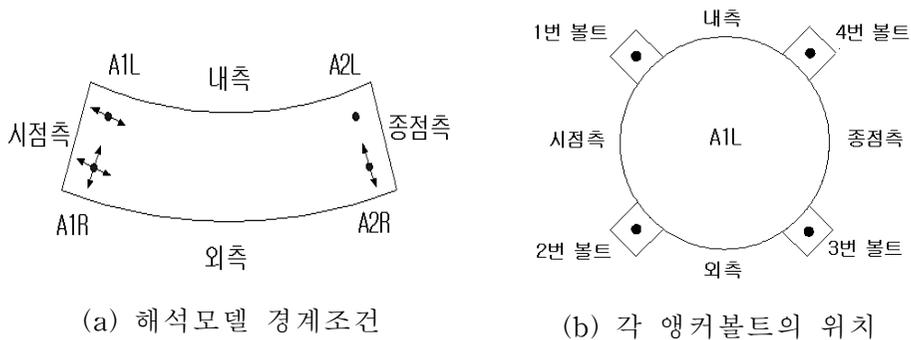


그림 4-30 경계조건 및 각 앵커볼트의 위치

(2) 대상교량의 받침 제원

대상교량의 받침 제원은 그림 4-31 및 표 4-16과 같다.

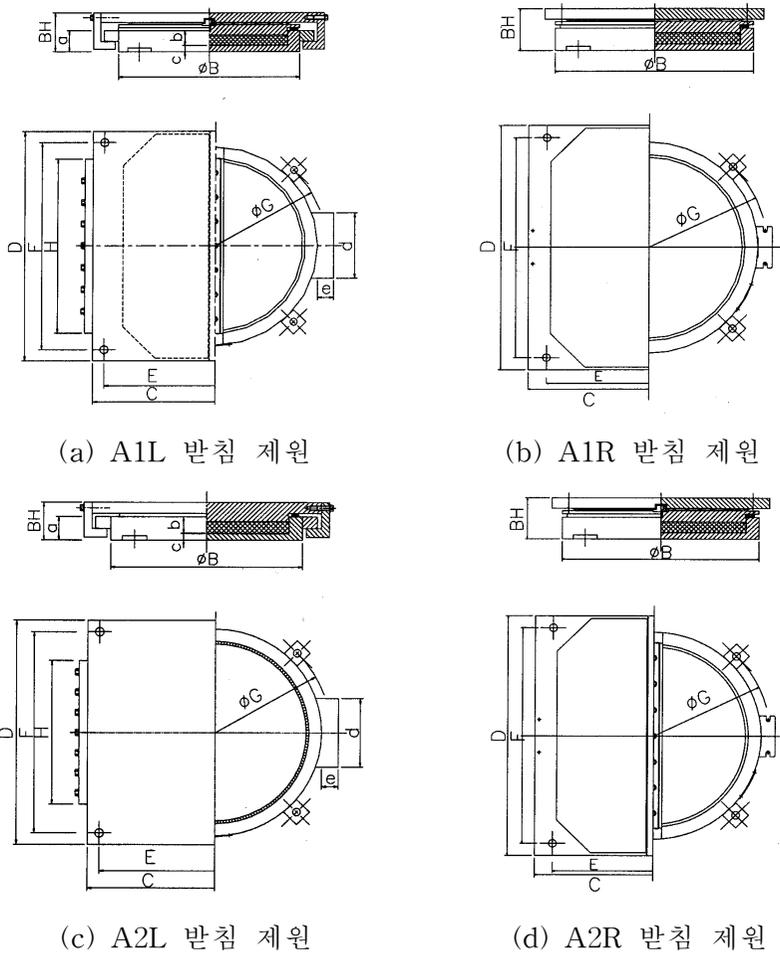


그림 4-31 대상교량의 받침 제원

표 4-16 대상교량의 받침 제원

(단위 : mm)

구분	ϕB	C	D	E	F	H	ϕG	BH	a	b	c	d	e
A1L	440	550	610	455	522	424	510	151	68	53	15	270	50
A1R	550	630	660	526	596	-	600	136	-	-	-	-	-
A2L	440	550	550	450	462	420	510	125.5	65.5	50.5	15	270	50
A2R	550	630	660	526	596	-	600	146	-	-	-	-	-

(3) 해석결과

앞에서 기술한 유한요소 해석을 수행한 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 총반력

표 4-17에 점받침과 비선형 받침을 사용한 경우에 대해 합성전 하중과 합성전+합성후 하중(이하 『합성후』라 한다.)하에서의 총 반력 값을 나타내었다. 여기서 비선형 받침의 경우는 지지면과 앵커볼트에 발생하는 반력을 모두 고려하여 각각의 받침에서 발생하는 총 반력값을 나타내었다. 점받침의 경우 ‘*’ 표시된 것은 합성전+합성후 하중이 아니라 합성후 하중(포장, 방호벽, 활하중, 원심하중)만에 의한 총 반력 값이다.

표 4-17 점받침과 비선형 받침의 총 반력

구 분	점받침				비선형 받침			
	A1L	A2L	A1R	A2R	A1L	A2L	A1R	A2R
합성전	4.87	4.72	258.96	259.25	5.27	4.78	258.36	259.10
『합성후』	-18.66	-25.38	379.94	382.65	-17.65	-17.63	377.48	375.13
	-23.53*	-30.10*	119.98*	123.40*				

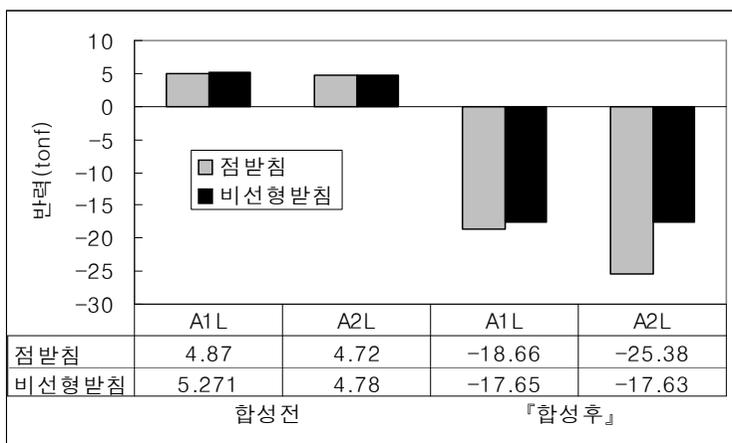


그림 4-32 내측 교축방향가동단(A1L)지점과 고정단(A2L)지점의 연직반력

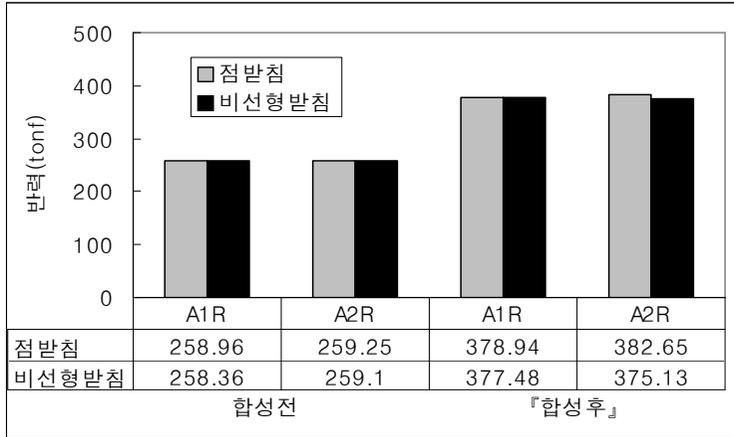


그림 4-33 외측 전방향가동단(A1R)지점과 교축직각방향가동단(A2R)지점의 연직반력

해석결과 연직반력은 곡선의 내측지점인 A1L지점과 A2L지점, 그리고 외측지점인 A1R지점과 A2R지점을 각각 비교했을 때 점받침의 경우는 곡선의 내측지점인 A1L지점과 A2L지점에서의 합성전의 반력 차이는 0.15tonf, 『합성후』의 반력 차이는 6.72tonf으로 나타났으며, 곡선의 외측 지점인 A1R지점과 A2R지점에서의 합성전의 반력 차이는 0.29tonf, 『합성후』의 반력 차이는 2.71tonf으로 나타났다. 그러나 비선형 받침을 사용했을 경우에는 내측지점에서의 합성전의 반력 차이는 0.49tonf, 『합성후』의 반력 차이는 0.02tonf으로 나타났고, 외측지점에서의 합성전의 반력 차이는 0.04tonf, 『합성후』 반력 차이는 2.35tonf으로 나타났다. 이 결과를 볼 때 내측지점인 A1L지점과 A2L지점에서 점받침을 사용할 때보다 비선형 받침을 사용할 때가 부반력이 감소하고 반력 차이도 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상이 발생하는 이유는 비선형 받침의 경우 받침 내부에 있는 유격성분이 박스거더의 변형 및 회전을 허용하게 됨으로써 점받침 지점에서 연직방향 성분의 변위제어로 발생하는 구속효과를 재분배시키기 때문인 것으로 판단된다.

그림 4-32와 33은 구조해석을 통해 얻어진 결과를 그림으로 나타내어 비교한 것이다. 합성전에는 곡선내측인 A1L지점과 A2L지점에서 많은 차이가 없는 것으로 나타났고, 합성후에서는 비선형 받침이 점받침보다 연직반력이 작아지고 A1L과 A2L의 반력 차이도 감소하는 것으로 나타났다.

② 앵커볼트에 발생하는 불균등력

표 4-18은 각각의 앵커볼트에 발생하는 반력을 나타낸 것이며, 점받침의 경우는 각각의 받침에 발생한 반력 값을 앵커볼트의 개수 4로 나눈 값이다. 여기에서는 앵커볼트에 발생하는 부반력이 문제가 되므로 『합성후』 하중에 의한 내측지점인 A1L지점과 A2L지점의 연직반력만을 나타내었다.

표 4-18 받침의 앵커볼트에 발생하는 불균등력

구분	점받침 (P/4)	비선형 받침			
		1번 볼트	2번 볼트	3번 볼트	4번 볼트
A1L	-4.665	-14.1	-2.33	1.22	-8.24
A2L	-6.345	-7.99	1.29	-2.6	-14.3

그림 4-34에 곡선내측 시점부 교축방향 가동단인 A1L지점과 종점부 고정단인 A2L지점의 앵커볼트에 따른 『합성후』 연직반력을 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 것과 같이 점받침 해석에서 얻어진 최대반력(A2L)을 볼트개수 4로 나눈 값을 점선으로 나타내었다.

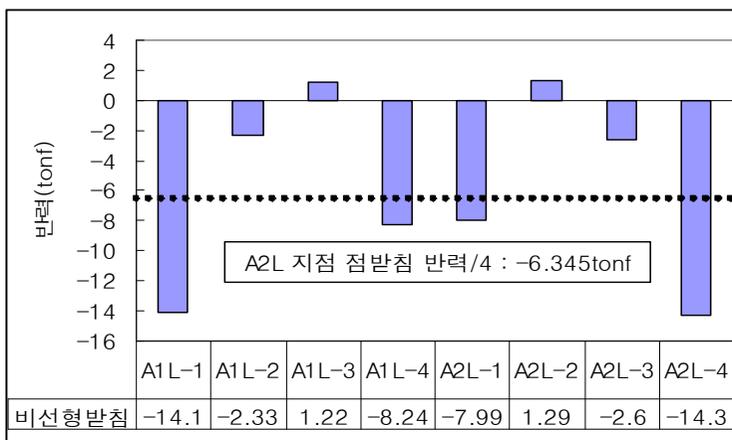


그림 4-34 앵커볼트의 연직반력 『합성후』

그림 4-34에 나타낸 것과 같이 A1L지점에서의 3번 볼트와 A2L지점에서의 2번 볼트는 정반력으로 나타났으며, 나머지 볼트에서는 부반력이 산출되었다. 이것은 그림 2-9와 그림 4-15와 같이 곡선교의 거동 특성이 잘 반영된 결과라 할 수 있다.

해석결과 점받침 해석 시 최대 부반력이 -6.345tonf이 산출되었으나, 비선형 받침 해석에서는 내측지점 각 받침부에서의 최원단부인 A1L지점의 1번 볼트와 A2L지점의 4번 볼트가 각각 -14.1tonf과 -14.3tonf으로 앵커볼트에 작용하는 불균등력에 의해 가장 큰 부반력을 받는 것을 알 수 있는데 점받침 해석 시의 반력보다 약 2.25배 큰 것으로 나타났다. 그러나 본 해석에서는 DB24 하중과 원심하중만으로 고려하였으므로 실제 교량에 작용하는 하중과는 차이가 있을 수 있으며, 실제 교량 조건의 과속, 과적차량 및 풍하중을 고려하면 그 차이는 더욱 크게 될 것으로 예상된다. 따라서 곡선교 설계 시 앵커볼트가 받는 최대 부반력을 산정할 때에는 점받침 해석을 토대로 해서 설계자의 판단에 따라 안전계수 2~3정도를 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4.2.5 유격조건이 반력에 미치는 영향

받침구조의 상세구조를 보면 일반적으로 수평유격 및 수직유격을 갖고 있는데, 수직유격은 부반력에 저항하기 위한 것이며, 수평유격은 시공 상의 여유 공간 기능을 위한 목적으로 설정된다. 유격이 이와 같은 목적에 의해 설정되더라도 시공 시 얼마나 확보되어 있는가는 받침부의 구조적 거동에 상당한 영향을 미칠 것으로 생각된다. 이러한 것을 고려하여 이 절에서는 받침부의 유격량이 부반력 발생과 어떤 관계를 갖는가를 평가하기 위하여 일련의 비선형 해석을 수행하였다.

(1) 해석 조건

초기 유격량이 지점반력에 미치는 영향을 분석하기 위하여 수직유격, 수평유격, 가동유도장치의 유격조건을 각각 5가지로 정하였다. 그림 4-35는 포트받침의 유격성분에 대해 나타낸 것이고, 표 4-19는 Case별 받침의 유격조건을 나타낸 것이다.

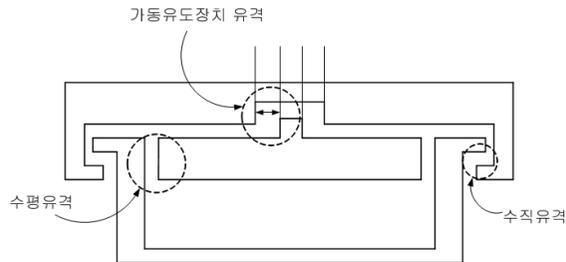


그림 4-35 포트받침의 유격성분

표 4-19 받침의 유격조건

구 분	수직유격	수평유격	가동유도장치유격	비 고
Case 1	4.0mm	0.25mm	0.5mm	실제 받침 유격인 수직(5mm), 수평(0.25mm), 가동유도장치(0.8mm)보다 불리한 값을 적용하기 위해 Case 1과 같은 값을 설정
Case 2	4.0mm	0.0mm	0.0mm	
Case 3	0.0mm	0.25mm	0.0mm	
Case 4	0.0mm	0.0mm	0.5mm	Case 2,3,4는 각각 하나의 유격만 설정
Case 5	0.0mm	0.0mm	0.0mm	Case 5는 유격이 닫힌 상태

(2) 해석결과

표 4-20, 21, 22 및 23은 받침의 유격 조건에 따른 앵커볼트에 발생하는 연직 방향 부반력, 교축직각방향반력 및 교축방향반력을 나타낸 것이다.

표 4-20 받침의 유격조건별 연직방향 부반력(앵커볼트)

구 분		A1L 지점(교축방향가동단)				A2L 지점(고정단)			
		1번	2번	3번	4번	1번	2번	3번	4번
Case1	합성 전	0.003	0.002	-0.003	-0.002	-0.003	-0.003	0.003	0.003
	『합성후』	-13.5	-2.69	1.32	-7.45	-7.55	1.74	-3.06	-14.0
Case2	합성 전	0.004	0.002	-0.003	-0.002	0.008	0.008	0.002	0.003
	『합성후』	-13.2	-2.35	1.98	-7.38	-7.81	2.94	-3.31	-14.6
Case3	합성 전	-3.99	-1.91	0.033	-1.15	-1.26	0.047	-2.09	-4.33
	『합성후』	-13.5	-5.84	1.33	-5.22	-5.44	3.17	-7.55	-15.5
Case4	합성 전	-4.13	-1.69	0.889	-1.16	-1.29	1.03	-1.85	-4.49
	『합성후』	-13.6	-5.5	2.22	-5.36	-4.97	3.74	-7.56	-16.0
Case5	합성 전	-4.13	-1.69	0.888	-1.16	-1.29	1.04	-1.86	-4.5
	『합성후』	-13.6	-5.5	2.22	-5.35	-4.97	3.74	-7.57	-16.0

표 4-21 받침의 유격조건별 연직방향 부반력(모르타르지지면, 받침전체)

구 분		A1L 지점(교축방향가동단)		A2L 지점(고정단)	
		압축력계*	전체받침구조계	압축력계*	전체받침구조계
Case1	합성 전	5.271	5.271	4.779	4.779
	『합성후』	4.64	-17.68	4.83	-18.04
Case2	합성 전	5.277	5.278	4.745	4.766
	『합성후』	3.75	-17.2	3.77	-19.01
Case3	합성 전	13.02	6.003	13.16	5.527
	『합성후』	5.48	-17.75	4.84	-20.48
Case4	합성 전	12.16	6.069	12.146	5.546
	『합성후』	4.582	-17.658	4.14	-20.65
Case5	합성 전	12.16	6.068	12.126	5.516
	『합성후』	4.583	-17.647	4.14	-20.66

압축력계* : 모르타르지지면에 작용하는 정반력의 합

표 4-22 받침의 유격조건별 교축직각방향반력(앵커볼트)

구 분		A1L 지점(교축방향가동단)					A2L 지점(고정단)				
		1번	2번	3번	4번	합계	1번	2번	3번	4번	합계
Case1	합성 전	0.002	-0.001	0.002	-0.001	0.002	-0.006	0	0.003	0.004	0.001
	『합성후』	1.786	1.244	1.273	1.687	5.99	1.548	1.948	0.868	1.562	5.926
Case2	합성 전	-0.001	-0.003	0	-0.004	-0.008	-0.005	0.027	0.008	0.018	0.048
	『합성후』	0.972	1.163	1.868	1.567	5.57	1.895	4.457	0.804	1.406	8.562
Case3	합성 전	-0.182	0.199	-0.127	0.106	-0.004	0.486	-0.005	0.012	-0.469	0.024
	『합성후』	1.546	1.114	1.156	1.448	5.264	2.420	5.529	0.352	2.218	10.519
Case4	합성 전	-1.318	0.759	0.709	-0.154	-0.004	0.127	1.247	0.603	-1.951	0.026
	『합성후』	0.478	1.409	1.947	1.340	5.174	1.665	6.040	1.281	2.081	11.067
Case5	합성 전	-1.318	0.758	0.709	-0.155	-0.006	0.129	1.270	0.604	-1.938	0.065
	『합성후』	0.476	1.409	1.937	1.340	5.162	1.669	6.053	1.285	2.093	11.1

표 4-23 받침의 유격조건별 교축방향반력(앵커볼트)

구 분		A2L 지점(고정단)					A2R 지점(교축직각방향가동단)				
		1번	2번	3번	4번	합계	1번	2번	3번	4번	합계
Case1	합성 전	-0.001	0.004	0.002	-0.005	0	0.011	-0.017	0.004	-0.001	-0.003
	『합성후』	-0.570	0.048	0.459	-0.398	-0.461	-0.396	-0.502	-0.381	-0.517	-1.796
Case2	합성 전	0.031	0.029	0.024	0.012	0.096	-0.010	-0.034	-0.028	-0.024	-0.096
	『합성후』	0.085	2.005	2.214	0.495	4.799	-1.494	-1.392	-2.379	-1.784	-7.049
Case3	합성 전	0.840	0.363	0.346	-0.810	0.739	-0.001	-0.026	-0.007	-0.012	-0.046
	『합성후』	1.520	3.768	2.633	0.775	8.696	-2.797	-2.283	-2.957	-2.923	-10.96
Case4	합성 전	0.779	0.664	-0.621	-0.768	0.054	0	-0.026	-0.013	-0.014	-0.053
	『합성후』	2.377	3.419	2.536	1.456	9.788	-2.644	-2.236	-4.146	-3.013	-12.039
Case5	합성 전	0.797	0.678	-0.602	-0.750	0.123	-0.015	-0.038	-0.036	-0.030	-0.119
	『합성후』	2.396	3.437	2.556	1.464	9.853	-2.664	-2.256	-4.166	-3.031	-12.117

① 유격조건이 연직반력에 미치는 영향

연직반력에 대한 해석결과를 그림 4-36, 37에 나타내었다. 그림 4-36에서 알 수 있는 것과 같이 합성전 단계에서는 5개 조건에서의 반력 값은 거의 차이를 나타내지 않으며 대부분 비슷한 경향으로 나타났다. 그러나 『합성후』 단계에서 모든 방향에서의 유격이 없는 Case5와 3방향의 소정의 설계 유격량을 갖는 Case1을 비교하면 반력 차이가 3.013tonf에서 0.36tonf으로 88% 감소하였으며, 유격이 작아짐에 따라 크기 및 부반력의 차이가 증가하는 것을 알 수 있다.

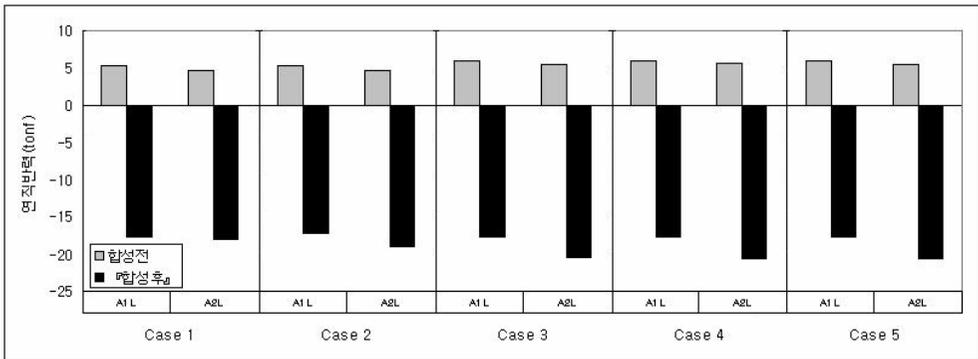


그림 4-36 유격조건에 따른 A1L지점과 A2L지점 연직반력(반침전체구조계)

앵커볼트별로는 그림 4-37에 나타난 것과 같이 수직유격이 부여되지 않은 Case3, 4와 모든 유격이 부여되지 않은 Case5는 합성전 단계에서 부반력이 발생하였으나, 전체반침 구조계에서는 모르타르지지면에 발생하는 정반력의 영향으로 정반력이 산출되었다.

이와 같은 결과는 부반력을 크기에 영향을 미치는 수직유격이 부여되지 않아 합성전 단계에서도 곡선교의 기하학적 특징 때문에 작은 뒀비틀림에 의해서도 부반력이 발생하는 것으로 생각된다. 『합성후』 하중 단계에서는 유격이 부여됨에 따라 내측 시점부 교축방향 가동단인 A1L지점의 1번 볼트와 내측 종점부 고정단인 A2L지점의 4번 볼트와의 반력 차이는 80% 만큼 감소하는 것으로 나타났으며, 유격이 부여될수록 앵커볼트에 발생하는 연직반력은 크기가 작아지고 균등해지는 것을 알 수 있다.

그리고 수평유격과 가동유도장치유격이 부여된 Case3,4와 모든 유격이 부여되지 않은 Case5는 비슷한 경향으로 나타났으며, 수직유격만 부여된 Case2가

Case3,4,5보다 하중분배율이 좋은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 앞에서 설명한 것과 같이 수평유격은 시공 상 여유 공간을 위한 목적으로 설정하였기 때문에 연직 부반력에 그다지 많은 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

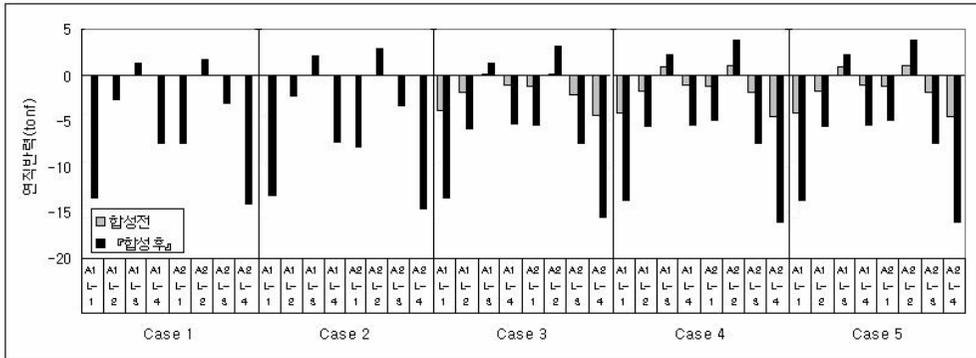


그림 4-37 유격조건에 따른 연직방향 부반력(앵커볼트)

② 유격조건이 교축직각방향반력에 미치는 영향

교축직각방향반력에 대한 결과를 그림 4-38, 39에 나타내었다. 그림 4-38에서 알 수 있는 것과 같이 합성전 단계에서는 반력이 아주 미미하게 발생한 것을 알 수 있으며 『합성후』에서 연직반력과 마찬가지로 모든 유격조건이 부여됨에 따라 반력 차이가 감소하는 것을 알 수 있다.

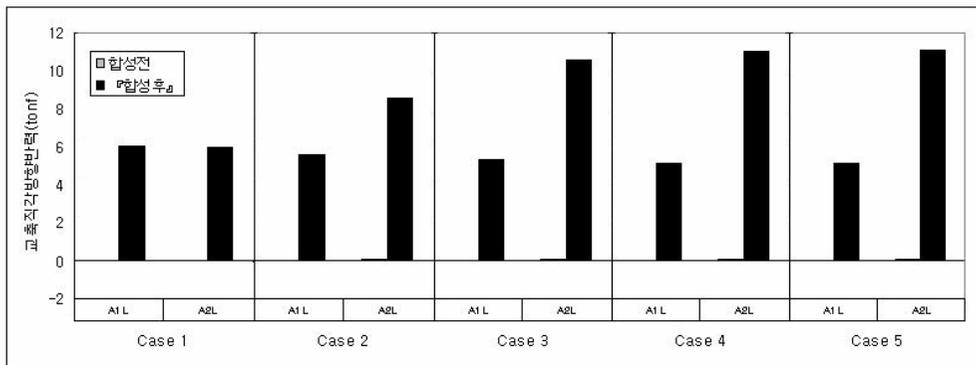


그림 4-38 유격조건에 따른 교축직각방향반력(받침전체구조계)

앵커볼트 위치에 따른 교축직각방향반력은 그림 4-39에 나타난 것과 같이 모든 유격이 부여되지 않은 Case5의 경우는 최대 반력 차이가 5.58tonf이며, 모든 유격이 부여된 Case1의 경우는 1.08tonf으로 나타났다. 또한 최대 교축직각방향

반력이 발생하는 A2L지점의 2번 볼트는 유격이 부여됨에 따라 6.05tonf에서 1.95tonf으로 약 68% 감소하였다.

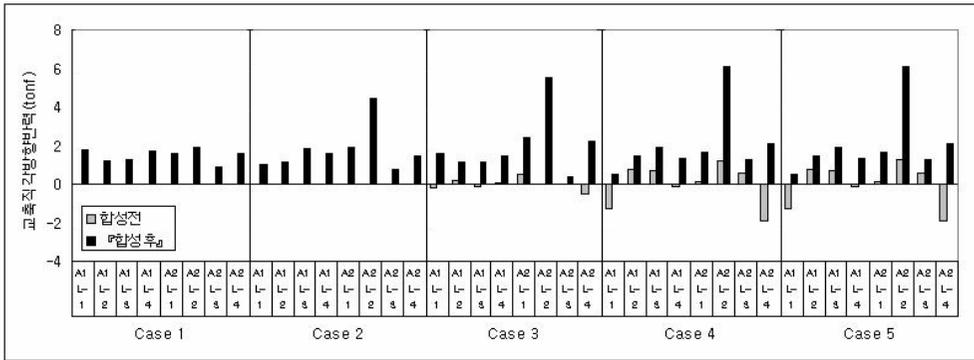


그림 4-39 유격조건에 따른 교축직각방향반력(앵커볼트)

③ 유격조건이 교축방향반력에 미치는 영향

교축방향반력에 대한 결과를 그림 4-40, 41에 나타내었다. 그림 4-40에서 알 수 있는 것과 같이 교축방향반력은 유격이 부여됨에 따라 교축직각방향의 반력 차이가 감소하여 힘의 평형을 이루기 위한 교축방향의 반력도 감소하는 것으로 나타났다. 교축직각방향반력과 유사하게 유격이 부여될수록 교축방향반력 차이가 줄어들어 유격이 부여되지 않은 Case5보다 모든 유격이 부여된 Case1은 약 94% 감소하였다.

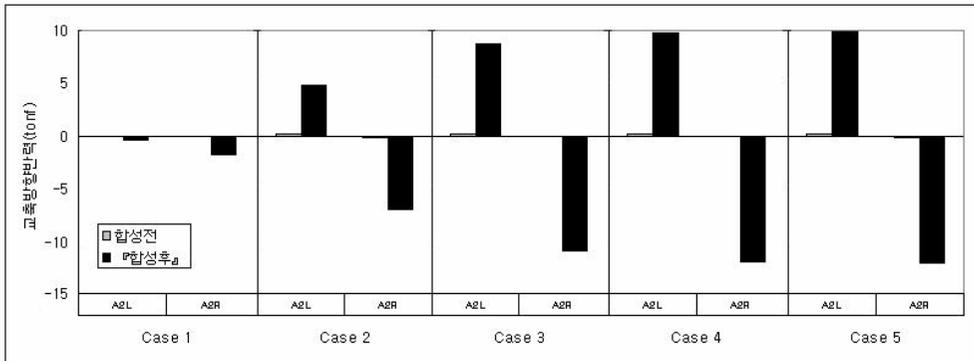


그림 4-40 유격조건에 따른 교축방향반력(받침전체구조계)

앵커볼트에 작용하는 최대 교축방향반력은 그림 4-41에 나타낸 것과 같이 모든 유격이 부여되지 않은 Case5의 A2R지점 3번 볼트에서 -4.16tonf이고, 같은

위치에서 모든 유격이 부여된 Case1에서는 약 90% 감소한 -0.381tonf 으로 나타났다. 그리고 유격이 부여될수록 앵커볼트에 발생하는 불균등력이 균등하게 작용하는 것을 알 수 있다.

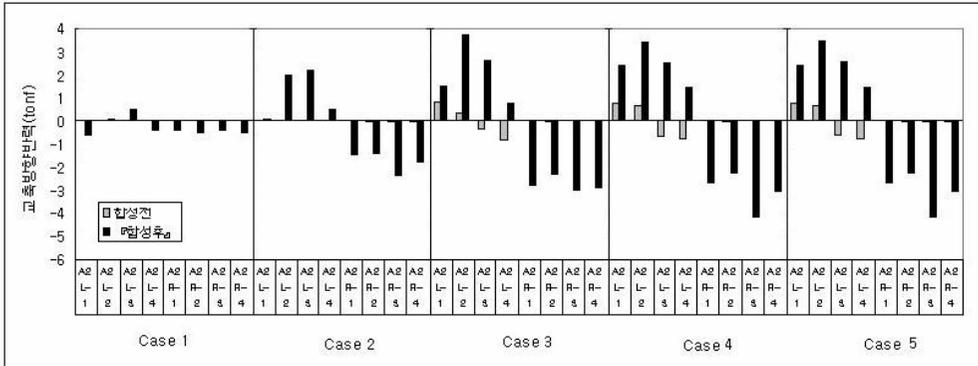


그림 4-41 유격조건에 따른 교축방향반력(앵커볼트)

또한 교축방향의 반력은 교축직각방향의 반력 차이에 의한 평면 내 회전모멘트에 지배되므로 받침 간격을 증가시킨다면 우력모멘트의 팔길이가 증가하여 교축방향반력은 더욱 감소할 것으로 판단된다.

이상 위 결과를 바탕으로 간략하게 종합하면, 받침에 수직유격과 수평방향의 유격을 설치하게 되면 받침의 회전 및 수평방향, 수직방향의 변위가 허용되어 유격량 만큼 구속이 해제되는 효과에 의해 상부구조로부터 전달된 반력이 앵커볼트에 균등하게 분배되는 것으로 나타났다. 그리고 실제 받침에서 존재할 수 있는 모든 유격조건을 고려하면 받침의 구속조건에 따른 연직반력의 불균등력 및 각각의 앵커볼트가 부담하는 불균등 분담률도 감소하는 경향으로 나타났다.

5장. 결론

(1) 국내의 고속도로상의 곡선교를 조사한 결과, 전도의 위험 가능성이 있는 단경간 교량은 103개 교량이며, 이중 강교량이 31%를 차지하고 있는데, 곡선반경이 작은 곡선교 IC 및 JC에 위치한 교량이다. 또 국내 고속도로 곡선 강교량 받침의 71%가 포트받침을 적용하고 있는 것으로 조사되었다. 한편 고속도로내의 곡선 강교량은 횡방향 구배가 곡선반경이 작을수록 크게 나타나는 것으로부터 횡방향 구배와 곡선교의 곡선반경의 관계를 조사하고 이들 관계를 나타내었다.

(2) 국내 국도의 경우는 고속도로와 비슷한 결과를 나타내고 있으나 횡방향 구배에 대한 입력 자료는 제공되지 않았다. 그리고 국도와 고속도로 모두 기본 자료에 곡선교의 부반력을 간단하게 평가할 수 있는 인자인 받침 간격에 대한 입력 자료가 제공되지 않아 향후 곡선교의 유지관리를 위해서는 곡선교의 기하학적 특징인 받침간격 등에 대한 DB구축이 필요할 것으로 판단된다.

(3) 국내·외 곡선교의 현황을 조사한 결과 전체적으로 국내의 곡선 강교량 현황과 일본의 곡선 강교량 현황은 상당히 유사한 특성을 많이 갖고 있는 것을 알 수 있다. 이는 국내의 강교량 설계 기준이 일본의 도로교설계기준과 상당히 유사하기 때문일 것으로 판단된다. 따라서 향후 곡선 강교량에 대해서는 일본의 곡선 강교량 유지관리 체계를 비롯하여 손상 사례 및 이에 대한 대처를 조사하고 이를 분석하는 것도 국내 곡선 강교량의 유지관리에 많은 도움이 되리라 생각한다.

(4) 국내·외 설계기준을 조사한 결과, 우리나라의 시방서 규정(도교시, 1992)은 활하중과 충격에 대하여 하중계수(2배)를 고려하는 방법의 부반력 조건 관계식이 미국과 일본의 경우와 유사하나, 추가적 조합가능의 하중은 모든 하중을 대상으로 하는 미국과는 달리 고정하중 또는 풍하중을 추가 고려하여 계산하는 것으로 하고 있다.

(5) 국내·외 받침손상 사례는 국내의 경우 받침의 불균등력으로 인한 종점부의 앵커소켓이 인발 파손된 후, 시점부가 부반력을 전부 부담하게 되어 시점부의 앵커볼트가 파단 되어 교량이 전도된 것으로 보고되고 있다. 일본의 경우는 네오 플레이트가 이동과 회전기능 때문에 반복 편심하중을 받아 파손된 것으로 보고되고 있다.

(6) 대상교량에 대해 부반력 조건으로 부반력을 평가하면, 우리나라의 경우가 일본의 경우보다 DB24 하중은 A1L의 경우 2.15배, A2L의 경우 1.88배 정도 큰 값이 산출되었고, DL24 하중은 A1L의 경우 1.81배, A2L의 경우 1.62배 정도 큰 값이 산출되었다. 이는 대상교량의 설계 당시 우리나라 도로교표준시방서(1992)의 부반력 조건 계산결과에 대한 안전도 수준을 일본의 기준과 비교해보면 충분히 안전한 범위의 여유를 포함하고 있는 안전측의 값이다.

(7) 받침의 앵커볼트에 작용하는 불균등한 인발력에 대해서는 해석결과 점받침 해석 시 최대 부반력이 -6.345tonf이 산출되었으나, 비선형 받침 해석에서는 앵커볼트에 작용하는 불균등력으로 인해 가장 큰 반력을 받고 있는 A1L지점의 1번 볼트와 A2L지점의 4번 볼트가 각각 -14.1tonf과 -14.3tonf으로 산출되어 점받침 해석 시의 반력보다 약 2.25배 큰 것으로 나왔다. 따라서 곡선교 설계 시 앵커볼트가 받는 최대 부반력을 산정할 때에는 점받침 해석을 토대로 해서 설계자의 판단에 따라 안전계수 2~3정도를 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

(8) 유격조건이 반력에 미치는 영향은 연직반력, 교축직각방향반력, 교축방향반력 모두 유격조건이 부여됨에 따라 최대반력 차이가 줄어들고 앵커볼트에 발생하는 불균등한 반력이 균등하게 작용하는 경향으로 나타났다.

참고문헌

건설부, 도로교 표준시방서, 1992

건설교통부, 곡선강교의 설계 및 구조상세 기술개발 연구, 2003. 12

건설교통부, BMS, 2004. 9

대한토목학회, 도로교 표준시방서, 1996

한국도로교통협회, 도로교설계기준, 2000

한국강구조학회, 제천 신동 IC 연결로 교량 사고원인 정밀분석 연구 용역 보고서, 2001. 9

한양대학교, 제천 신동I/C 교량사고 정밀원인분석 연구용역 보고서, 2004. 6

AASHTO, LRFD Bridge Design Specifications, 1988

AASHTO, Standard Specifications for Highway Bridges, 2002

BS5400, Steel, Concrete and Composite Bridges : Part 9 Bridges Bearings, 1983

BS5400, Steel, Concrete and Composite Bridges : Part 2 Specification for Loads, 1978

NCHRP, Recommended Specifications for Steel Curved-Girder Bridges, 1998

日本道路協會，道路橋示方書・同解説，平成 8年

日本道路協會，道路橋支承便覧，2004. 4

日本橋梁建設協會，Design Data Book, 2001. 9

阪神高速道路公団，曲線桁設計の手引き(案)，1988. 10

中井 博，橋本良之：曲線箱桁橋の実績調査，橋梁と基礎，1994. 5

감사의 글

연구실에 들어온 지 어느덧 3년이라는 세월이 흘렀습니다. 군대보다도 긴 3년이라는 기간 동안 연구실에서 많은 것을 보고 듣고 배웠습니다. 기쁘고 즐거웠던 일들도 많았지만 힘들 때도 있었습니다. 그때마다 연구실에 있는 후배들과 서로 함께 웃었고 함께 힘들어 했습니다. 그 경험들은 사회에 나갈 저에게 엄청난 재산이 될 것이며 힘이 되어 줄 것입니다. 이런 연구실 생활은 다른 어떤 것보다 소중한 것입니다. 그만큼 성취감 보다는 더 잘 하지 못한 후회와 아쉬움이 많이 남습니다.

먼저 대학원 진학 결정에 동의해 주시고 장남인 저를 위해 희생하시는 부모님께 감사의 말씀을 올립니다. 그리고 지금까지 형, 오빠로서 나를 믿고 의지해 온 저의 동생 창업, 효진에게도 감사의 말을 전합니다.

대학원 생활동안 저에게 많은 지도와 충고, 격려를 해주시고 지금의 논문을 있게 해주신 경갑수 교수님께 진심으로 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 대학교 입학 때부터 저에게 많은 가르침을 주신 김태곤 교수님, 김도삼 교수님, 이중우 교수님, 김태형 교수님께 감사의 말씀을 드립니다. 또한 교수님 후배이신 허상구 부장님, 많은 가르침을 주셔서 감사합니다.

저의 96동기이면서 석사 동기인 영국에 간 진우, 연구실에 수많은 전설을 남긴 준호, 구조방의 신동 동호, 언제나 여성스러운 경진, 만능 엔터테이너 규식, 뺨질이 형식, 그리고 귀염둥이 막내 혜연에게도 고마움을 전합니다. 마지막으로 기쁠 때나 슬플 때 언제나 옆에 있어 준 저의 여자친구이자 석사 동기인 지윤에게도 감사의 말을 전합니다.

2005년 1월 11일

반 영 직