

## 교각 주위내 부유잡목에 의한 수위 및 유속변화에 관한 연구 Changes in Water Depth and Velocity by Debris around Piers

최계운\* / 김기형\*\* / 박용섭\*\*

Choi, Gye Woon / Kim, Gee Hyoung / Park, Yong Sup

### Abstract

In this paper, the reasons of damages and the case study are review in which bridge pier with debris accumulation, and safety influence factors by debris around the bridge piers are review. Also experiment is conducted for the characteristic of flow around piers by different area and angle of debris and the basic characteristics was review for safe design of bridge and embankments.

As result of review of several standards of design, hydraulic structure's freeboard is simply decided by discharge, so it needs more detail standards. And as result of experiment, in the case of that water depth is deep and velocity is slow, variation of water depth is more increase as increasing of debris. Therefore the variation regime of flow characteristics like velocity and water depth by debris is more large in the stream of small or medium size, which streams have large water depth and slow velocity so Froude Number is expressed as small in the flood. Also when Froude Number is about 0.6, the water elevation is over freeboard in the standard if the debris over 20%.

Therefore when hydraulic structure is constructed in the stream of small or medium size, it need to conduct more detail experiments about influence of debris, distribution of velocity and variation of elevation, and than the more safe freeboard will be presented using the experimental results.

**Key Words** : debris, freeboard, bridge, embankment, water depth, velocity

### 요 지

본 연구에서는 교각에 부유잡목이 걸린 경우의 피해사례와 원인을 검토하고 교각주위의 부유잡목에 의한 수위 및 유속의 변화에 대하여 검토하였다. 또한 교각에 걸린 부유잡목의 면적변화 및 각도변화에 따른 교각 주위의 흐름특성을 통해 교량 및 제방의 안정된 설계를 위한 부유잡목의 기초적인 특성을 파악하였다. 각종 설계기준을 검토한 결과 하천에 설치된 교량 등 수리구조물의 여유고는 단순히 하천의 유량에 따라 결정하도록 하고 있어 좀더 구체적인 기준이 필요한 것으로 판단된다. 모형 실험결과 수심이 크고 유속이 작은 경우에 잡목 비율이 증가할수록

\* 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수

Prof., Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea

\*\* 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사수료

Ph. D. Student, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea

수위변화 폭은 크게 증가하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 부유잡목에 의한 유속, 수위 등 흐름특성은 수심이 크고 유속이 작아서 홍수시에도 비교적 적은 Fr수가 발생하는 중소하천에서 그 변화폭이 클 것으로 판단된다. 또한 실험결과 Fr수가 약 0.6일 때 부유잡목이 10% 이상이 되면 현재의 여유고 기준을 초과하는 수위가 발생하는 것으로 나타나 중소하천의 구조물 설치시에는 잡목의 영향, 유속분포, 수위변화 등을 고려한 구체적인 실험을 실시하고 이를 통해 좀더 안전한 여유고가 제시되어야 할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 부유잡목, 여유고, 교량, 제방 수위, 유속

## 1. 서 론

최근의 집중강우로 인한 홍수의 발생은 산지, 농촌, 도심지역을 막론하고 많은 피해를 발생시키고 있으며 특히 중·소 하천에 설치된 많은 교량을 파괴시키는 등 각종 수리구조물에 심각한 위협을 가하고 있다. 홍수에 의해 파괴된 수리구조물의 대부분은 하천에 설치된 크고 작은 교량들로써 이들 교량의 파괴원인은 홍수시 월류에 의한 파괴, 교각 기초부의 세굴로 인한 파괴, 교대부 세굴 및 호안의 침식에 의한 파괴, 홍수시 떠내려오는 이송물과의 충돌로 인한 파괴 등 매우 다양한 원인을 보이고 있다. 이들 원인 중 특히 최근에는 홍수시 하천을 따라 이동하는 부유잡목에 의한 구조물의 피해가 급증하고 있는 것이 특이할만한 사항이다. 그러나 아직 국내의 각종 하천구조물 관련 기준에는 이들 부유잡목에 대한 뚜렷한 기준이 마련되지 못하고 있는 상황이며 최근 몇 년 전부터 구체적인 연구가 진행되고 있다.

국내의 경우 교량의 붕괴원인을 살펴보면 붕괴된 전체 교량 중 약 40%정도가 홍수시의 부유잡목이나 또는 이로 인한 수위의 여유고 초과가 구조물 파괴의 직접적인 원인으로 알려지고 있으며 특히 중북부지역 시설물 피해 현장조사 보고서(국립방재연구소, 2001)를 보면 2001년 집중호우로 인한 중북부 지역의 21개 피해 교량 중 62%가 부유잡목에 의한 영향이 직·간접적으로 피해원인을 제공한 것으로 조사되었다.

2001년과 2002년의 홍수로 인한 피해는 주로 중소규모의 교량에서 많이 발생하였으며 대부분 부유잡목에 의한 영향이 매우 크게 나타나고 있다. 교각 전면에 많은 부유잡목이 집적되어 통수 단면적을 감소시키거나 또는 통수단면적을 완전히 차단한 경우도 있으며 이로 인하여 수위가 상승하여 교량을 월류하거나 압력 흐름이 발생하여 하상 및 기초의 세굴을 가속화하여 구조물의 파괴를 유발하는 경우도 발생하고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 유역내 산림이 많은 경우는 특

하천시설물 설계에 있어 부유잡목에 의한 영향을 반드시 고려하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

특히 2002년의 홍수로 인한 강원도지역 피해는 산불로 황폐해진 임야에서 발생된 토사에 의한 하상상승 현상과 함께 집적된 부유잡목에 의한 수위 상승이 더 많은 피해를 유발한 것이 2001년의 경우와 다소 다른 점이라고 할 수 있다.

중북부지역 시설물 피해 현장조사 보고서(국립방재연구소, 2001)를 보면 2001년 집중호우로 인한 중북부 지역의 21개 피해 교량 중 62%가 부유잡목에 의한 영향이 직·간접적으로 피해원인을 제공한 것으로 조사되었다.

2001년과 2002년의 홍수로 인한 피해는 주로 중소규모의 교량에서 많이 발생하였으며 대부분 부유잡목에 의한 영향이 매우 크게 나타나고 있다. 교각 전면에 많은 부유잡목이 집적되어 통수 단면적을 감소시키거나 또는 통수단면적을 완전히 차단한 경우도 있으며 이로 인하여 수위가 상승하여 교량을 월류하거나 압력 흐름이 발생하여 하상 및 기초의 세굴을 가속화하여 구조물의 파괴를 유발하는 경우도 발생하고 있는 것으로 분석되었다. 따라서 유역내 산림이 많은 경우는 특히 하천시설물 설계에 있어 부유잡목에 의한 영향을 반드시 고려하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

특히 2002년의 홍수로 인한 강원도지역 피해는 산불로 황폐해진 임야에서 발생된 토사에 의한 하상상승 현상과 함께 집적된 부유잡목에 의한 수위 상승이 더 많은 피해를 유발한 것이 2001년의 경우와 다소 다른 점이라고 할 수 있다.

중북부지역 시설물 피해 현장조사 보고서(국립방재연구소, 2001)에서 분석된 2001년 교량피해 원인을 종류별로 구분하면 부유잡목에 의한 직·간접적 원인이 62%로 가장 많으며 세굴이 8%, 하천만곡이 18%로 만곡부에 설치된 교량의 피해도 많아서 교량의 설치 위치에 대한 원인도 많은 비중을 차지하고 있다. 부유잡목에 의한 원인을 다시 세분하면 부유잡목으로

인한 통수능 감소가 23%로 가장 많고 유량의 월류가 20% 그리고 부유잡목으로 인한 세굴발생이 19%로 분석되었는데 중북부지역에서 부유잡목에 의한 피해는 주로 유수단면적의 감소로 인한 월류발생에 따른 붕괴, 압력흐름에 의한 하상 및 기초의 세굴 등에 의한 것으로 대하천에서 발생하기도 하는 컨테이너 등의 대형 부유물과의 충돌에 의한 피해는 없는 것으로 분석하고 있다.

현재 국내의 하천시설기준(건설교통부, 200) 및 하천공사표준시방서(건설교통부, 1999), 도로교설계기준(건설교통부, 2000), 도로교 설계요령(한국도로공사, 2001), 도로설계 편람(한국건설기술연구원, 2000) 등의 기준에는 하천의 홍수량에 따라 여유고를 결정하도록 제시하고 있으나 부유잡목의 영향에 대해서는 구체적인 기준을 제시하지 못하고 있으며 더욱이 이때 결정되는 여유고는 구체적인 수리실험을 통해 결정되지 못하고 일반적인 경험이나 과거의 관행에 따라 결정되므로 여유고의 범위가 수리구조물의 안정성 확보에 적합하지 않도록 결정되는 경우도 발생하고 있다. 따라서 수리구조물의 안정성에 영향을 미치는 부유잡목에 의한 영향은 수리실험을 통해 구체적으로 검토되어야 하며 이를 기초로 각종 기준에서 제시하고 있는 여유고 결정이 이루어져야만 홍수시 부유잡목에 대해 안정성을 확보할 수 있을 것이다.

하천에 설치된 구조물에 집적된 부유잡목에 대한 연구동향을 살펴보면 Laursen과 Toch(1956)는 모래하상에 설치된 교각에 부유잡목이 걸린 경우의 세굴에 대한 실험연구를 실시하였으며 이를 정량적으로 분석하지는 못하였으나 교각에 걸린 부유잡목은 교각을 크게 하는 효과를 나타낸다고 하였다. Foster(1988)는 부유잡목으로 인해 붕괴된 미시시피강의 교량에 대해 조사하고 모형연구를 실시하였다.

Melville과 Dongol(1992)는 모래하상에 설치된 교각에 나무형태의 부유잡목이 걸린 경우의 세굴실험을 실시하고 세굴심 산정에 사용되는 교각폭 대신 사용할 유효교각폭을 제안하였다. Dongol(1989)은 부유잡목에 의해 붕괴된 12개의 교량에 대한 부유잡목과 관계 인자간의 반응에 대하여 분석하였다.

국내의 경우 해외에 비하여 상당히 미미한 연구를 보이고 있는데 국내의 경우 윤세의 등(1997)은 수목이 있는 하도에서의 수위예측에 대하여 연구하여 전단면적에 대한 수목군의 면적비가 증가할수록 수위는 증가하며 수목군의 위치가 저수로에 인접할수록 수위가 증가하여 최고 0.81%의 증가를 보였다고 하였다. 최계운 등(1999)은 홍수시 부유잡목에 의한 수위상승과 제방에

유고에 대하여 연구를 수행하여 수심이 크고 유속이 작은 중소하천의 경우 부유잡목에 의한 영향이 더 크게 나타난다고 하였다. 김봉근 등(2000)은 홍수시의 부유잡목이 교각의 구조적 안정성에 미치는 영향을 연구하여 대형하천보다 중소하천에 설치된 교각에서 부유잡목의 영향이 더 크게 나타난다고 하였다. 심우배 등(2000)은 부유잡목을 고려한 교량 경간장의 세굴심에 관한 연구를 수행하여 교량의 경간장은 최소 교각폭의 7배 이상이 되도록 하는 것이 안전하다고 하였다.

이처럼 국내의 경우 최근 들어 부유잡목에 대한 연구가 수행되고 있으나 아직도 미진한 상황이며 부유잡목에 의한 수위변화 등에 관한 연구는 거의 진행되지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서는 교각에 부유잡목이 걸린 경우의 피해사례와 원인을 검토하고 교각주위의 부유잡목에 의한 안정성 영향인자를 평가하기 위하여 교각에 걸린 부유잡목의 면적변화 및 각도변화에 따른 교각 주위의 흐름특성을 파악하여 교량 및 제방의 안정된 설계가 이루어질 수 있도록 기초적인 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 홍수시 교량 설치지점의 부유잡목에 의한 수위상승 영향 검토

### 2.1 교각의 경간 부족시

하천에 교각을 설치하는 경우의 교각과 교각사이의 경간장은 하천의 단면적과 관련된 중요 인자중 하나이다. 교량의 경간장에 대한 기준은 도로설계요령(한국도로공사, 2001)과 하천시설기준(건설교통부, 2002)에 따르면 다음의 식을 이용한 값으로도 검토하도록 하고 있다.

$$L = 20 + 0.005Q < 70m$$

$$L : \text{경간장(m)}, Q : \text{계획홍수량(CMS)}$$

한편 추가적으로 계획홍수량이 500m<sup>3</sup>/sec 미만이고 하천 폭이 30m미만인 하천일 경우는 12.5m이상, 계획홍수량이 500m<sup>3</sup>/sec 미만이고 하천 폭이 30m이상인 하천일 경우는 15m이상, 그리고 계획홍수량이 500m<sup>3</sup>/sec ~2000m<sup>3</sup>/sec 인 하천일 경우에는 20m이상 경간장을 설치하고 주운을 고려해야 할 경우는 주운에 필요한 최소 경간장 이상을 하도록 제안하고 있다. 단, 하천의 상황 및 지형학적 특성상 제시된 경간장 확보가 어려운 경우 치수에 지장이 없다면, 교각 설치에 따른



(a) 장남천 천현교



(b) 내천 철제 가설교

그림 1. 경간 부족으로 인해 집적된 부유잡목

표 1. 도로설계요령과 하천공사표준시방서의 교량 여유고

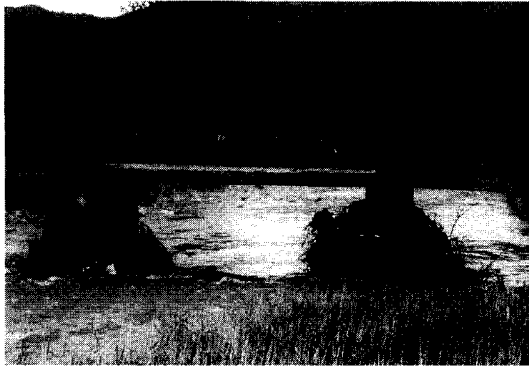
도로설계요령(2001)		하천공사표준시방서(2002)	
계획홍수량(m <sup>3</sup> /sec)	여유고(m)	계획홍수량(m <sup>3</sup> /sec)	여유고(m)
200미만	0.6이상	200미만	0.6 이상
200~500	0.8~1.0	200이상~500미만	0.8 이상
500~1,500	1.0~1.2	500이상~2,000미만	1.0 이상
1,500~3,500	1.2~1.5	2,000이상~5,000미만	1.2 이상
3,500~10,000	1.5~2.0	5,000이상~10,000미만	1.5 이상
단, 100m <sup>3</sup> /sec이하의 하천에 대해서는 0.6m로 할 수 있다.		10,000이상	2.0 이상

하천폭 감소율(설치된 교각폭의 합계 / 하천의 폭)이 5%를 초과하지 않는 범위 내에서 경간장을 조정할 수 있도록 하고 있다.

그림 1은 경간장이 부족하여 교량에 집적된 부유잡목을 보여주고 있다. 그림에서처럼 중소 하천에 설치된 교량은 대부분 경간이 작아 부유잡목이 집적될 가능성이 매우 크게 발생하고 있으며 그림 1(a)는 강원도 홍천에 있는 천현교의 모습으로 박스교량인 경우 이송된 부유잡목이 좁은 경간을 통과하지 못하고 그대로 집적된 모습이며 그림 1(b)는 임시로 가설된 가교로서 가교의 경우 교각 형태는 철제 빔으로 되어 있으며 트러스 처럼 망의 구성을 하고 있고 경간장도 타 교량보다 훨씬 작기 때문에 부유잡목이 집적될 가능성이 더욱 높다. 그림에서는 가설교 전면에 집적된 부유잡목이 가교의 전면을 거의 가로막고 있는 모습을 볼 수 있다.

## 2.2 교각의 여유고 부족시

교량 설치시 고려해야할 사항의 하나는 하천의 수위가 교량을 넘지 않도록 하는 여유고이다. 여유고는 홍수시 수위상승에 대하여 안전성을 유지하도록 하는 높이로 대부분 하천의 홍수량에 따라 결정하도록 하고 있다. 도로교설계요령(한국도로공사, 1992, 2001)을 살펴보면 교량의 여유고에 있어서 “교량의 형하고는 계획홍수위에 여유고를 더한 높이 이상으로 한다. 현재의 계획제방높이 또는 현재의 제방높이보다 낮아서는 안된다. 여유고는 계획홍수량에 따라 표 3.4의 높이를 기준으로 한다”라고 제안하고 있다. 하천공사표준시방서(건설부, 1999)에서는 제방의 경우 여유고를 하천의 홍수량에 따라 결정하도록 제안하고 있으며 교량 등의 구조물을 설치하는 경우에는 계획홍수위에 여유고를 더하도록 하고 있다. 표 1은 도로설계요령과 하천공사표준시방서에서 제안하고 있는 교량의 여유고를 나타내고 있다. 또



(a) 유동천 춘당교



(b) 내천 송림교



(c) 신리천 금룡교



(d) 장남천 철정교

그림 2. 여유고 부족으로 인한 교량 피해

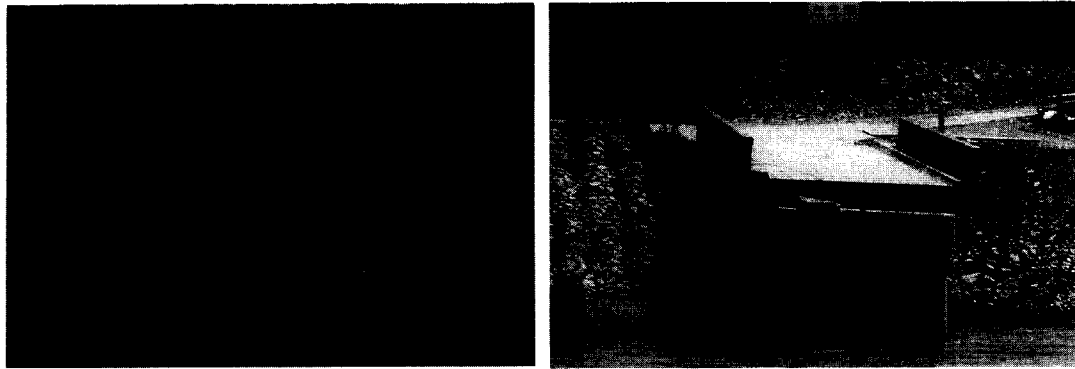
한 그림 2는 하천에 설치된 교량의 여유고 부족으로 인해 홍수시 피해가 발생한 교량들을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 홍수시 이송된 부유잡목은 교량의 교각에 집적되어 단면적을 감소시키는 주된 원인을 제공하고 있는데 집적되는 부유잡목이 점차로 증가하면 감소된 단면적으로 인해 수위가 상승하며 결국 교량을 월류하는 흐름이 발생하게 된다. 그림 2(a)는 강원도 횡성군 유동천에 설치된 춘당교의 모습으로 월류된 흐름에 의해 난간에 파괴된 것을 볼 수 있으며 그림 2(b)는 강원도 홍천을 흐르는 내천에 설치된 송림교 상부의 모습으로 흐름이 교량을 월류하여 교량위에 많은 부유잡목이 널려있는 모습을 볼 수 있다. 그림 2(c)와 그림 2(d)도 월류된 흐름에 의해 교량의 난간에 많은 부유잡목이 걸린 모습을 보여주고 있다.

### 2.3 수위상승 및 유속증가에 따른 세굴발생

하천구조물의 안정성에 영향을 미치는 인자 중 최근 관심있게 연구된 인자는 세굴에 관한 것이다. 그러나

세굴에 관한 연구는 세굴의 기초적인 특성 및 세굴심 산정, 세굴의 감소방법 등에 집중되었고 실제로 하천구조물의 피해 방지를 위한 기준제시에 있어서는 구체적인 기준을 마련하지 못하고 있다. 하천시설기준에서는 세굴평가에 있어 “교량설치에 따른 세굴 검토를 위해서는 100년 빈도 홍수량이  $200\text{m}^3/\text{sec}$  이하의 경우 50년 빈도 이상의 홍수사상을 선정하고 100년 빈도 홍수량이  $200\text{m}^3/\text{sec}$  이상  $2000\text{m}^3/\text{sec}$  이하의 경우 100년 이상 빈도의 홍수사상을 선정하며 100년 빈도 홍수량이나 기왕 최대 홍수량이  $2000\text{m}^3/\text{sec}$  이상일 경우에는 500년 빈도의 홍수량을 산정하여 세굴검토에 사용한다.

또한 만약 500년 빈도 홍수량을 결정하기 어려운 경우에는 100년 빈도 홍수량의 1.7배 유량을 500년 빈도 홍수량으로 사용할 수 있다.” 라고 하고 있으며 CSU, Froehlich, Lauren, Neil 공식 및 국내에서 제안된 해당 하천의 세굴공식을 모두 검토하도록 하고 있다. 그럼에도 여전히 세굴에 의한 피해는 지속적으로 발생하고 있으며 이는 부유잡목에 의한 수위상승 및 유속증



(a) 신리천 신리교

(b) 장남천 선평교

그림 3. 부유잡목에 의한 수위 및 유속증가로 발생한 세굴피해

가에 대한 영향을 충분히 고려하지 못하기 때문에 판단된다. 그림 3은 홍수시 부유잡목에 의해 수위가 상승하고 이로 인한 유속의 증가로 세굴이 발생되어 피해를 입은 교량을 보여주고 있다. 그림 3(a)는 신리천 신리교 홍수시 이송된 부유잡목이 교량의 중앙부분에 집적되어 유속을 증가시키고 이로 인해 세굴이 가속화되어 교각이 쓰러지면서 교량이 붕괴된 모습으로 그림에서는 쓰러진 교각에 집적된 부유잡목을 볼 수 있다. 그림 3(b)는 장남천 선평교의 붕괴 모습으로 세굴로 인하여 교각이 침하되면서 교량이 붕괴된 모습을 보여주고 있다.

#### 4. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서는 폭 0.4m, 높이 0.4m, 길이 12m의

가변경시수로에 아크릴로 제작한 폭 2cm, 길이 8cm의 반원형 모형교각을 20cm 간격으로 2개 설치하였으며 하상재료의 이동에 의한 수위변화를 방지하기 위하여 하상재료를 포설하지 않은 고정상 하상을 이용하였다. 본 실험과 유사한 개념으로 김봉근 등(2000)과 심우배 등(2000)은 아크릴 판을 부유잡목 대응으로 이용한 연구를 수행하였으며 호주와 뉴질랜드에서는 부유잡목의 집적을 삼각형 형태로 구성하고 호주 및 영국 등에서는 직사각형 형태로 구성하였는데(국립방재연구소, 2001) 본 실험에서는 교각에 걸린 부유잡목(이하 ‘잡목’이라 함)의 효과를 발생시키기 위하여 아크릴판을 직사각 형태로 구성하여 잡목으로 이용하였으며 교각의 전면에 잡목의 부착이 용이하도록 1mm굵기의 mesh를 교각 전면에 부착하였다. 수위의 측정은 유속방향에 대

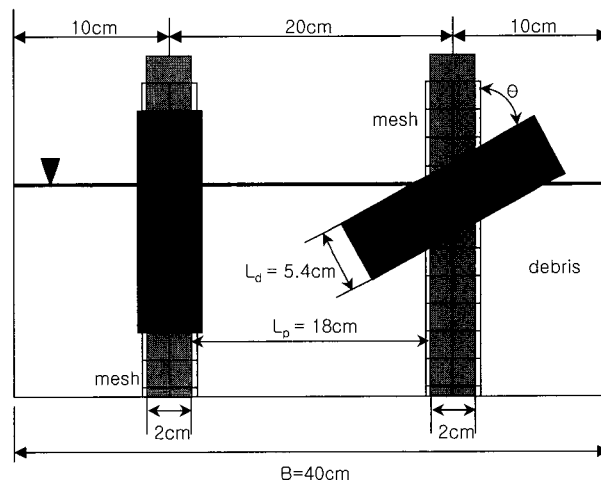


그림 4. 모형교각의 개략도

표 2. 각각의 경우에 따른 실험 조건

구 분	Froude Number			
	0.1	0.2	0.4	0.6
평균유속(cm/sec)	12.50	19.80	30.50	41.00
수심(cm)	13.90	9.64	5.70	4.76
잡목 비율(%)	0, 5, 10, 15, 20			
잡목 각도(θ)	0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°			

하여 전후좌우 측정이 가능하도록 수로상단에 설치된 게이지를 이용하였으며 Froude 수를 결정하기 위한 유속측정은 SENSA-Z 300 마그네틱 전자유속계를 이용하였다. 그림 4는 실험에 사용된 모형교각의 개요를 보여주고 있다. 모형수로의 유량은 하천시설기준의 여유고와 비교하기 위하여 실제유량 2,000CMS를 기준으로 실험 유량을 6,000cm<sup>3</sup>/sec로 하였으며 실제 여유고와 실험시 여유고의 비교를 위해서 6,000cm<sup>3</sup>/sec에 해당하는 축척 1/161.86을 이용하였다.

표 2는 각각의 경우에 대한 실험조건을 나타내고 있다. Froude수를 0.1, 0.2, 0.4, 0.6으로 변화시켰으며 모형수로의 평균유속을 측정하여 Froude수를 구하였다. 각각의 Froude수에서 모형수로에 설치된 교각 전면에 걸린 잡목에 의한 개도비가 100%, 95%, 90%, 85%, 80%로 변화하는 경우의 수위변화를 파악하기 위하여 잡목의 면적을 0%, 5%, 10%, 15%, 20%로 변화시켰으며 각각의 면적에서 수위변화가 가장 크게 발생하는 잡목의 폭과 길이를 결정하여 그림과 같이 잡목의 폭

(Ld)가 교각지간(Lp)의 0.3Lp 가 되는 잡목(5.4cm×15cm)을 사용하였다. 또한 각각의 잡목면적에 대하여 교각에 걸리는 각도의 변화에 대한 수위변화를 파악하기 위해 잡목을 교각에 대하여 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° 로 부착하고 발생하는 수위변화를 측정하였고 수위 측정은 Point gage를 이용하였으며 교각 전면에서 발생하는 최고 수위를 측정하였다.

## 5. 실험결과와 분석

### 5.1 부유잡목에 의한 단면적 감소에 따른 유속 변화

부유잡목으로 인한 흐름의 단면적이 변화할 때의 유속변화를 그림 5과 그림 6에 나타내었다. 그림 5는 부유잡목의 각도가 0° 인 경우를 기준으로 부유잡목의 집적 각도가 90° 로 변화한 경우 부유잡목의 면적 변화에 따른 유속의 변화율을 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 부유잡목의 면적이 증가할수록 부유잡목이 설치된 지점을 중심으로 수면방향은 최대 24%정도 유속이 감

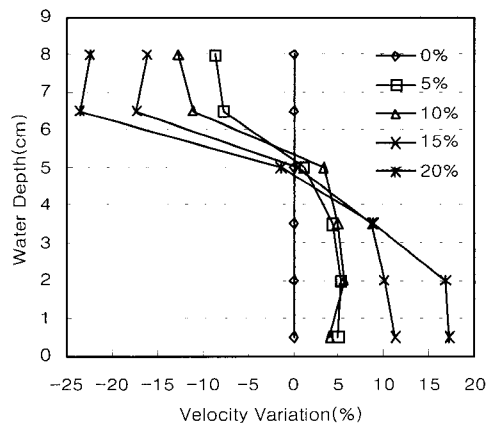


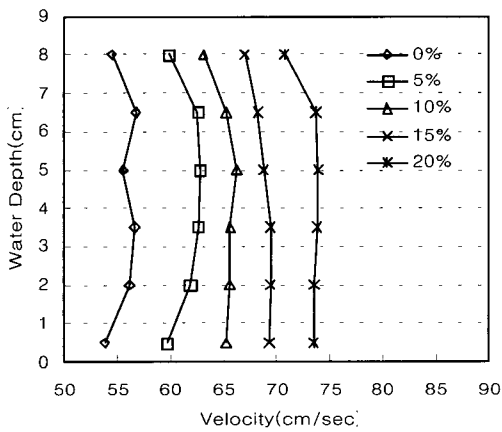
그림 5. 집적각도가 90° 인 경우의 유속변화율(0° 기준)

소하고 수심방향은 최대 17%정도 유속이 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 부유잡목으로 인해 수면쪽은 수위에 대한 위험이 존재하며 수심쪽은 빠른 유속에 의한 위험이 존재하고 있음을 알 수 있다.

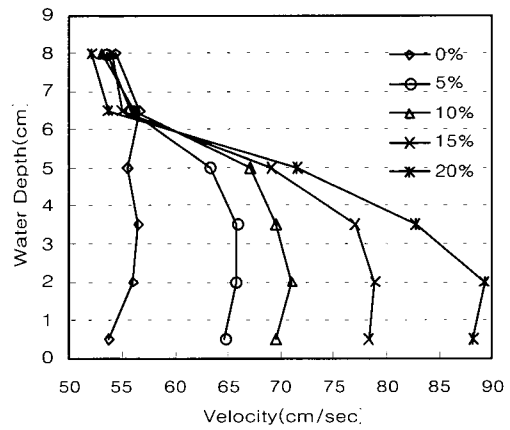
그림 5(a)에 나타난 바와 같이 잡목의 집적 각도가 30° 인 경우에 수심별 유속은 전형적인 개수로의 유속 분포를 보이고 있으며 잡목의 비율이 증가할수록 유속은 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 5(b)는 교각의 잡목이 90° 각도로 부착된 경우에 잡목의 비율에 따른 수심별 유속분포를 나타내고 있다.

수면 부근에서 유속이 가장 작게 나타나는 것은 교각에 부착된 잡목에 의해 흐름이 장애를 받아 유속의

상당부분이 감소하고 있기 때문으로 판단된다. 그림 6(b)에서 보는바와 같이 수면부근은 부유잡목의 비율이 증가할수록 유속이 감소하는 경향을 보이며 수심방향으로 갈수록 유속은 상당히 크게 증가하다가 수로 바닥 부근에서 다시 유속이 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 수면부근에서 부유잡목으로 인해 감소된 유속이 보상되어 발생하는 현상으로 판단되며 이로 인해 수면은 수위가 상승하고 하상은 심한 세굴이 발생할 것으로 판단된다. 잡목의 비율이 증가할수록 최대유속은 수로 하부에서 발생하고 있으며 동시에 수면에서의 유속감소는 더욱 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

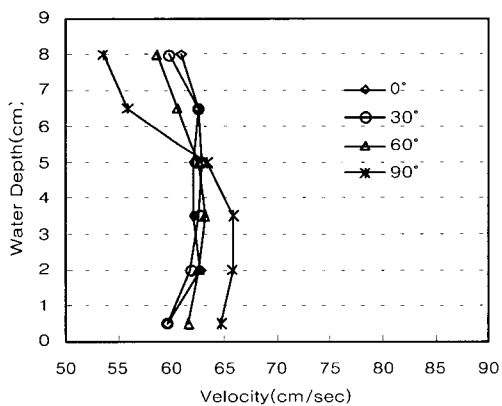


(a) 부유잡목 집적 30°

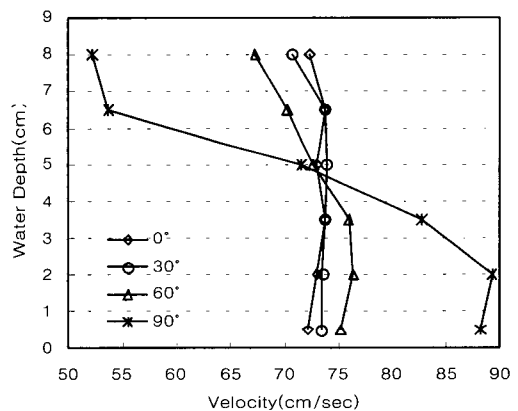


(b) 부유잡목 집적 90°

그림 6. 부유잡목 비율에 따른 유속변화



(a) 부유잡목비율 5%



(b) 부유잡목비율 20%

그림 7. 부유잡목의 집적 각도에 따른 유속변화



## 5.2 부유잡목에 의한 집적형태(각도)에 따른 유속변화

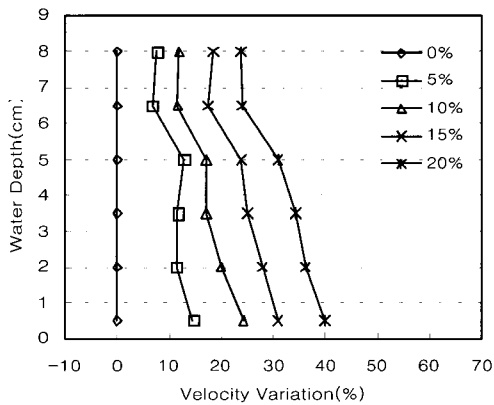
교각에 설치된 잡목의 비율이 일정한 경우에 잡목의 부착각도에 따른 유속분포를 그림 7에 나타내었다. 잡목의 비율이 5%인 경우 각도에 따른 평균 유속은 거의 일정하나, 각도가 증가할수록 즉, 교각과 직각에 가까울수록 수면에서의 유속감소와 잡목 하부의 유속 증가가 더욱 크게 발생하는 것으로 나타났다. 잡목의 비율이 20%인 경우도 유사한 경향을 보이고 있으나 잡목비율이 작은 경우에 비하여 교각의 부착각도에 따른 유속의 변화가 훨씬 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 부유잡목의 집적 각도가 60° 인 경우와 90°

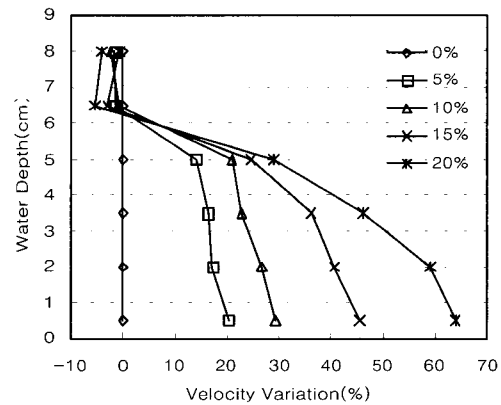
인 경우에 부유잡목이 없는 경우를 기준으로 부유잡목의 면적 증가에 따른 유속 변화율을 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 동일한 집적각도에서 부유잡목의 면적이 증가할수록 수면쪽의 유속 변화보다 수심방향의 유속변화가 훨씬 크게 나타나고 있으며 집적각도가 90° 인 경우에는 부유잡목이 증가할수록 부유잡목이 없는 경우보다 수면근처의 유속이 오히려 감소하는 것으로 나타나 수위상승의 원인을 제공하고 있음을 알 수 있다.

## 5.3 부유잡목에 의한 단면적 감소에 따른 수위변화

부유잡목의 면적이 증가할수록 교각주위의 수위변화

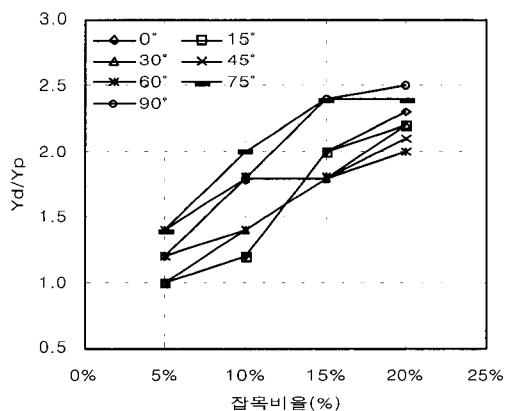


(a) 집적각도 60°

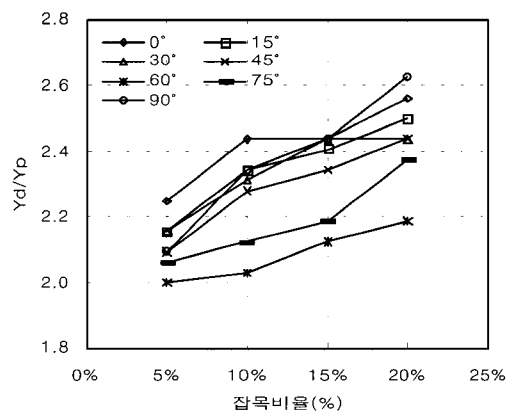


(b) 집적각도 90°

그림 8. 부유잡목 면적에 따른 유속변화율



(a) Fr = 0.1



(b) Fr = 0.6

그림 9. 부유잡목 비율에 따른 수위변화

는 크게 나타났으며 잡목의 부착 각도에 따라 수위변화의 폭은 서로 다르게 나타났다. 그림 9는 0.1, 0.6의 Fr 수에서 잡목비율의 증가에 따른 교각주위의 수위변화를 나타내고 있다. 그림에서 가로축은 잡목비율을 나타내며 세로축은 잡목이 없는 교각에서의 수위 증가분( $Y_p$ )에 대한 잡목비율에 따른 수위증가분( $Y_d$ )의 비를 나타내고 있다. 그림에 나타났듯이 Fr=0.1에서 잡목비율이 5%인 경우 수위는 잡목이 없는 경우에 비하여 각도에 따라 1.0~1.4배, 10%일 때 각도에 따라 1.2~2.0배, 15%일 때 각도에 따라 1.8~2.4배, 20%일 때 각도에 따라 2.0~2.5배의 수위증가를 나타냈으며, Fr=0.6에서는 각도에 따라 각각의 잡목비율에서 2.0~2.25배, 2.03~2.44배, 2.13~2.44배, 2.2~2.38배의 수위증가를 나타냈다.

#### 5.4 부유잡목에 의한 집적형태(각도)에 따른 수위변화

부유잡목의 집적각도를 변화시키는 경우 수위변화는 Fr수와 잡목의 면적에 따라 서로 다른 경향을 보이고 있다. 그림 10은 Fr수가 0.1인 경우와 0.6인 경우에 부유잡목의 집적 각도에 따른 부유잡목 비율별 수위변화를 보여주고 있다. 그림에서 가로축은 교각에 집적된 부유잡목의 각도이며 세로축은 부유잡목이 없는 경우에 대한 수위증가율을 나타낸다.

Fr수가 0.1인 경우는 잡목의 부착 각도에 따른 뚜렷한 경향은 찾기 어려우나 잡목비율이 5%, 10%로 부유

잡목이 적은 경우는 대체로 잡목의 각도가 증가할수록 잡목에 의한 수위증가율도 증가하다가 집적각도가 60°에서 최대를 보이고 다시 수위증가율이 감소하는 경향을 보이며 잡목비율이 15%, 20%로 부유잡목 비율이 대체로 큰 경우는 집적각도의 증가에 따라 수위증가율이 감소하다가 잡목의 각도가 60°에서 최소를 보이고 60°를 지나면서 수위증가율은 다시 증가하여 90°에서 최대의 수위증가를 나타내고 있다.

Fr수가 0.6인 경우는 잡목의 면적에 관계없이 유사한 경향을 보여 잡목각도가 증가할수록 수위증가율은 점차로 감소하다가 잡목각도 60°에서 수위증가가 최소를 보이고 60°를 지나면서 잡목에 의한 수위증가율은 다시 증가하여 90°에서 최대의 수위증가를 보이고 있다.

또한 부유잡목에 의한 수위증가는 Fr수가 큰 경우에 더 크게 나타나지만 부유잡목에 의한 수위변동 폭은 Fr수가 작을 때 즉, 유속이 작고 수심이 큰 경우에 더 크게 발생하는 것으로 나타났다.

따라서 부유잡목에 의한 수위의 영향은 부유잡목의 집적각도, 부유잡목의 면적비, 그리고 유속 및 수심 등 많은 인자들에 의해 복합적인 영향을 받고 있는 것을 알 수 있다.

#### 5.5 실험결과의 검토

지금까지의 실험 결과를 실제 하천에 설치된 교량에 적용하기 위해서 부유잡목이 집적된 경우 하천공사표준

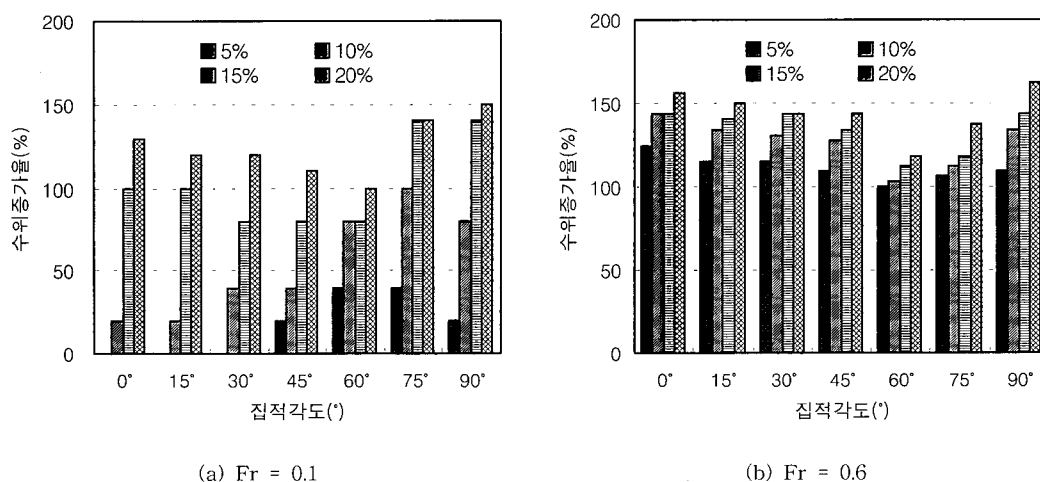


그림 10. 부유잡목 비율에 따른 수위변화

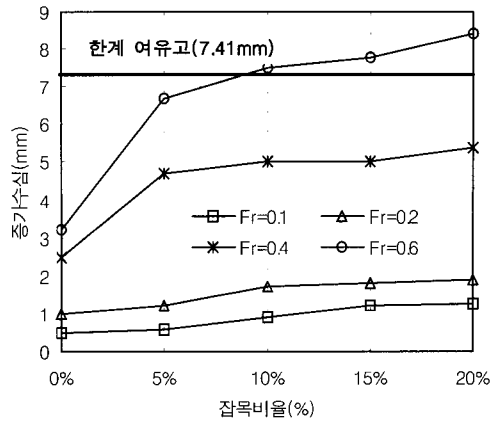


그림 11. 여유고에 대한 수위 상승

시방서와 도로교설계기준에서 제시하고 있는 교하공간 (여유고)을 초과하는지의 여부를 검토하기 위하여 모형에서 발생한 수위증가를 기준에서 제시하고 있는 여유고와 비교하였다. 하천설계기준에서는 제방의 여유고를 기준으로 교량의 여유고를 두도록 하고 있으며 도로교설계기준에서는 하천설계기준을 참고하여 교량의 여유고를 하천의 홍수량에 따라 제시하고 있다.

실험결과를 검토하기 위해 사용된 실험유량은 실제 유량 2,000CMS를 기준으로 한 6,000cm<sup>3</sup>/sec로 모형에 사용된 유량의 축척은 1/161.86이며 실제 유량이 2,000CMS인 경우 120cm를 확보해야 하는 여유고는 축소된 실험장치에서는 0.74cm의 여유고를 확보하여야 한다. 그러나 그림 11에서 알 수 있듯이 Fr수가 0.6일 때 잡목비율이 10%에서 0.74cm를 초과하는 경우가 발생하였다. 이러한 경우 교량의 통행은 물론 구조물 자체의 안전에도 심각한 위험을 초래할 것이다. 따라서 기준에서 제시하고 있는 여유고는 교각에 걸린 잡목의 비율과 수위상승의 효과 등을 고려한 좀더 구체적인 실험을 통해 제시되어야 할 것으로 판단된다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 2001년과 2002년 발생한 홍수에 의한 하천 시설물 중 교량을 중심으로 발생한 피해현황을 조사 분석하고 부유잡목의 영향을 파악하기 위한 실험에서는 실제유량 2,000CMS를 1/161.86으로 축소한 6,000cm<sup>3</sup>/sec의 실험유량을 이용하여 교각에 부착된 잡목의 비율과 각도의 변화에 따라 발생하는 교각의 수위변화 및 유속변화 등 흐름특성에 대하여 검토하였다.

며 본 실험을 통하여 다음의 결론을 도출하였다.

- 1) 하천의 구조물 설치에 대한 각종 설계기준을 검토하고 구조물의 피해 현황을 분석한 결과 하천에 설치된 교량 등 수리구조물의 여유고는 단순히 하천의 유량에 따라 결정하도록 하고 있어 좀더 구체적인 기준이 필요한 것으로 판단된다.
- 2) 부유잡목의 면적비율 증가에 따른 유속의 변화에 있어 부유잡목의 비율이 증가할수록 최대유속의 발생위치는 수심방향으로 수로 하부에서 발생하며 수면에서의 유속은 반대로 감소하고 있는 것으로 나타났으며 잡목의 비율이 증가할수록 유속의 변화폭도 훨씬 큰 폭으로 변화하고 있는 것으로 나타났다.
- 3) 부유잡목의 면적비율이 증가할수록 변화하는 유속의 증가폭은 부유잡목의 집적각도가 큰 경우에 훨씬 크게 나타나고 있으며 수면에서의 유속은 감소하는 경향을 보이고 있다.
- 4) 부유잡목의 각도에 따른 수위는 부착각도가 60°인 경우를 기준으로 수위가 증가 또는 감소하고 있으며 부착각도가 클수록, Fr수가 클수록 최대 수위를 나타낸다.
- 5) Fr수가 큰 경우에 비하여 Fr수가 작은 경우에 부유잡목에 의한 수위변화 폭은 크게 발생하고 있는 것으로 나타나 부유잡목에 의한 유속, 수위 등 흐름특성은 수심이 크고 유속이 작아 홍수시에도 비교적 적은 Fr수가 발생하는 하천에서 그 변화폭이 클 것으로 판단된다.
- 6) Fr수가 0.6정도인 경우 부유잡목이 10%이상으로

써 개도비가 90%이하가 되면 현재 제시된 설계 기준의 여유고를 초과하는 수위가 발생하는 것으로 나타나 향후 여유고 설정을 위한 유속분포, 수위변화 등을 고려한 구체적인 실험을 실시하고 이를 통해 좀더 안전한 여유고가 제시되어야 할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구를 위해 자료를 제공해 주신 강릉대학교 박상덕 교수님과 국립방재연구소 오금호 박사님께 감사드립니다.

### 참고 문헌

- Dongol, D.M. (1989), *Effect of Debris Rafting on Local Scour at Bridge Piers*, Auckland, University of Auckland Department of Civil Engineering, School of Engineering Report No. 473.
- Foster, J.E. (1988), *Jefferson Barracks Bridge, Movable-Bed Model Study*, Vicksburg, Mississippi, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Miscellaneous Paper HL-88-7.
- Laursen, E.M. and Toch, A. (1956), "Scour around Bridge Piers and Abutments", *Iowa Highway Research Board*, Bulletin No. 4.
- Melville, B.W. and Dongol, D.M. (1992), "Bridge Pier Scour with Debris Accumulation", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 9, pp. 1306~1310.
- 건설교통부 (2000), **도로교설계기준**.
- 건설교통부 (2002), **하천시설기준**.
- 건설교통부 (1999), **하천시설공사표준시방서**.
- 국립방재연구소 (2001), **중북부지역 시설물 피해 현장조사 보고서**.
- 김봉근, 오금호, 이상호 (2000) "홍수시 유송잡물의 집적이 중소하천에 위치한 교각의 구조적 안정성에 미치는 영향", **방재연구논문집**, 제2권, 제4호, pp.123~131.
- 심우배, 심기오, 박영진 (2000) "유송잡물의 영향을 고려한 교량 경간장의 세굴심 감소효과에 관한 연구", **방재연구논문집**, 제2권, 제4호, pp.133~140.
- 윤세의, 정재욱 외 2명 (1997) "수목이 있는 하도에서의 수위 예측", **97년 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, pp. 69-74.
- 일본도로공단 지, 원기술편집부 역 (1991), **도로설계요령(신판) 교량구조설계시공**, 도서출판 원기술.
- 최계운, 김기형, 강희경 (1999) "홍수시 부유잡목에 의한 수위상승이 제방의 여유고에 미치는 영향", **99년 한국수자원학회 학술발표회 논문집**, pp. 523-528.
- 한국건설기술연구원 (2000), **건설교통부 도로설계편람(교량일반 및 강교)**.
- 한국도로공사 (1992), **도로설계요령 제3권 교량편**.
- 한국도로공사 (2001), **도로설계요령 제3권 교량편**.

(논문번호:02-93/접수:2002.11.27/심사완료:2003.03.15)