

세변 콘크리트 암거의 구조적 평가 및 AASHTO와 국내시방서와의 비교 분석

Structural Evaluation of Three-Sided Concrete Culverts and Comparison of Korean Specifications with AASHTO

백성용* 정덕진**
Back, Sung Yong Jung, Duck Jin

ABSTRACT

Three-sided concrete culverts can be used to replace short span bridges and multiple sections(barrels) of four-sided concrete box culverts. ASTM Standards do not specify designs for four-sided concrete box culverts with span lengths exceeding 3.6m(12ft) nor do they discuss the three-sided concrete culverts. This paper describes the analysis and design of three-sided flat-top precast reinforced concrete culverts with span length of 4m(14ft). Both AASHTO and Korean specifications were used to compare the main reinforcing steel. It is shown that the related provisions of Korean specifications result in more conservative design than those of AASHTO specifications.

1. 서론

미국 도로협회에 따르면 대략 30%의 교량이 기능적으로나 구조적으로 결함이 있으며 그 중 구조적 결함이 있는 교량의 대부분은 지간이 15m 이하인 교량들이라고 알려져 있다⁽¹⁾. 프리캐스트 콘크리트 암거는 기능이 저하된 소 교량과 현장타설 암거에 대한 경제적인 대체방안이 될 수 있다. 이러한 암거는 세변 또는 네변 프리캐스트 콘크리트 암거이다. 내구성, 최소 현장 공사기간, 그리고 선호할 만한 공사비 등으로 프리캐스트 콘크리트 암거가 가장 많이 사용되고 있다.

표준 프리캐스트 콘크리트 암거의 최대 경간은 ASTM C 850과 C 789에 따라 3.6m이다. 이 경간은 최대 강우량시 배수능력이 부족함으로 다련 박스단면의 사용이 필요하게 되며 인접 암거의 벽체는 교각의 역할을 하게 되어 홍수 발생의 우려가 있다. 따라서 다련 박스단면의 경제적인 대체방안은 긴 경간을 가진 새로운 박스 단면의 개발이다. 그러나 경간이 증가함에 따라 사하중이 증가하며 박스단면을 현장 이동할 때 수송문제를 야기시킬 수 있다.

세변 콘크리트 암거는 경간이 4m와 11m 사이의 소 교량과 다련 네변 콘크리트 박스 암거의 대체방안으로 개발되었다. ASTM 규정에서는 경간이 3.6m(12ft)를 초과하는 네변 콘크리트 박스 암거와 세변 암거의 설계에 관해 언급되어 있지 않다. 또한 국내에서는 프리캐스트 세변 콘크리트를 이용한 사례가 없다.

* 정회원, 인제대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 인제대학교 토목공학과 석사과정

본 연구에서는 4m(14ft) 경간을 가지는 윗 면이 평평한 프리캐스트 세면 철근콘크리트 암거의 해석과 설계를 수행하며 AASHTO 시방서⁽⁴⁾와 국내시방서⁽⁶⁾를 각각 적용시켜 비교 분석한다. AASHTO 시방서의 HS20하중과, 국내 시방서에서의 DB24하중을 같은 단면에 적용시켜 비교 분석하기 위해 2개의 구조물들을 선택하였다.

2. 구조 해석

세면 콘크리트 암거는 평면 골조해석이나 3차원 유한요소해석을 사용하여 해석과 설계를 만족스럽게 수행할 수 있다고 알려져 있다⁽¹⁾. 따라서 본 연구에서는 상용구조해석 프로그램인 GTSTRUDL⁽²⁾을 사용하여 2개의 암거에 대한 구조해석을 수행하였다. 충격을 고려한 AASHTO HS20과 국내 시방서 DB24 운하중에 충격계수를 고려해 적용하였으며 띠기초와 벽체 하단은 헌치로 연결되어 있다고 가정하였다. 운하중의 응력집중 효과를 감소시키기 위해 운하중 분포폭위에 운하중을 적용하였고 헌치를 고려하여 구조해석을 수행하였다. 헌치는 단면의 높이가 변함으로 1feet(0.31m) 간격으로 높이가 일정한 단면이라고 간주했다.

2.1. AASHTO

프리캐스트 콘크리트 암거의 일반적인 해석은 강성라멘(rigid frames)이 단위 폭으로 연속된 3차원 구조물로 취급한다. 활화중은 주철근이 차량진행방향에 평행한 슬래브에 대해 AASHTO 운하중 분포폭⁽³⁾을 사용하여 식(1)과 같이 결정된다.

$$E = 4.0 + 0.06S \leq 7ft \quad (E = 1.2 + 0.06S \leq 2.1m) \quad (1)$$

여기서, S는 유효 경간길이이며 순경간에 헌치 한개의 길이를 뺀 길이이다. 본 연구에서는 헌치의 각도에 상관없이 유효 경간길이를 사용하였다. 그림 1은 전형적인 윗면이 평평한 프리캐스트 세면 콘크리트 암거를 보여준다.

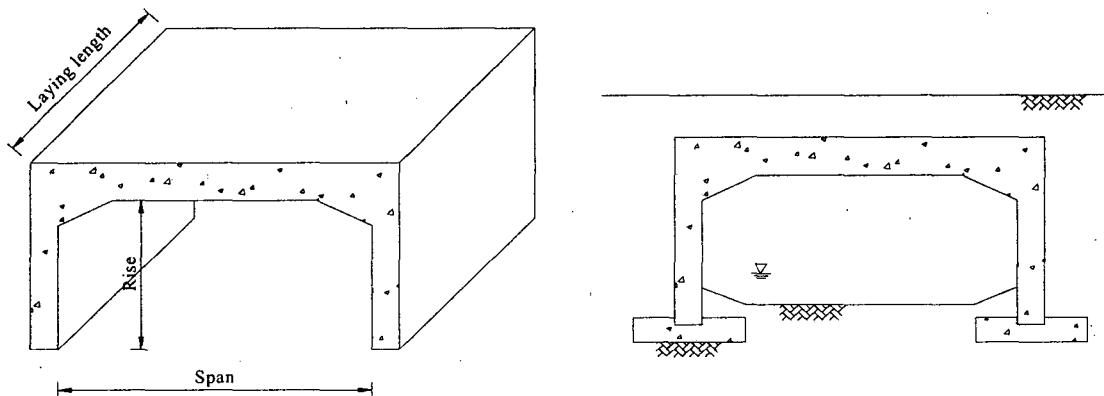


그림 1. 전형적인 프리캐스트 세면 콘크리트 암거

2.2. 국내 시방서

AASHTO 시방서의 HS20하중을 적용하여 국내 시방서에 따라 구조해석을 하고 AASHTO HS20과 상응하는 국내 DB24를 AASHTO 시방서와 국내 시방서에 적용시켜 구조해석 및 철근량을 구해 비교 분석하였다. 국내 도로교 표준시방서⁽⁶⁾에서는 활화중이 주철근과 평행한 슬래브에 대해 운하중 분포폭은⁽⁶⁾ 식(1)과 같다.

3. 구조 설계

본 연구에서 고려되는 모든 암거들은 슬래브저면 양쪽에 수평으로 0.6m(2ft), 수직으로 0.3m(1ft) 헌치를 가지며 설계 운하중을 안전하게 지지한다고 가정한다. 암거는 벽체와 슬래브 사이의 헌치 때문에 다양한 관성 모멘트를 가진다.

윗면이 평평한 세변 콘크리트 암거의 설계와 해석에 고려되는 하중들은 다음과 같다.

- 암거위 재료의 사하중
- 암거의 사하중
- 활화중과 충격 하중
- 횡토압

횡토압은 구조물의 벽체에 작용하여 암거를 강성체로 만드는 경향이 있고 동수압은 설계하중을 감소시키는 경향이 있기 때문에 각각 고려하지 않았다. 프리캐스트 콘크리트 구조물에서 취급과 운송에 의해 생기는 응력은 설계에 영향을 주기 때문에 반드시 고려되어야 한다. 슬래브를 덮고 있는 포장두께는 125mm(5in)를 가진다고 가정하였다. 구조물에 인접한 흙은 1920kg/m³(120pcf) 단위 중량과 내부 마찰각이 30°인 과립상으로 가정하였다. 설계 활화중은 HS20 또는 DB24 하중에 30% 충격하중을 추가하여 적용하였고 콘크리트 강도는 5ksi(35MPa)이고 철근의 항복강도는 65ksi(448MPa)로 사용하였다. 모든 보강 철근의 콘크리트 피복두께는 5.08cm(2in)로 가정하였다. 슬래브와 벽체 두께는 전단 보강 철근이 필요없는 범위에서 선택되어 졌으며 암거위의 흙 덮개는 0.6m(2ft) 이하인 경우이다.

AASHTO 시방서는 수직압력에 의해 생기는 횡하중을 최소 0.25에서 최대 0.5까지 계수를 곱한 값을 적용하고 횡토압은 주동토압을 사용하도록 규정하고 있다. 프리캐스트 세변 콘크리트 암거의 슬래브와 벽체에 대한 강도감소계수는 0.95이고 사하중과 활화중에 대한 하중계수는 1.5와 2.2를 각각 사용하였다. 암거에 접근하는 차량에 의한 횡하중의 증가는 포장두께가 0.6m이하의 경우에 38.3 kPa을 사용하고 0.6m이상인 경우는 38.3/H kPa을 사용한다. 여기서 H는 슬래브위의 포장두께(m)이다. 이 하중이 작용하여 단면력의 증가로 철근량이 증가하는 경우에만 하중을 작용시키고 그 외 경우에는 이 하중을 작용시키지 않는다. 슬래브와 벽체의 철근량⁽⁴⁾은 식(2)을 사용하여 구할 수 있으며 최소 철근량 0.002Ag보다 적을 경우 최소 철근량을 사용하였다.

$$M_u = \phi A_s f_y \left(d - \frac{A_s f_y}{1.7 f_c b} \right) \quad (2)$$

여기서 A_s = 철근 단면적
 b = 폭
 d = 유효깊이

AASHTO 8.20의 온도 및 건조수축 철근량은 세변 콘크리트 암거에서는 적용할 수 없도록 규정되어 있으므로 배력철근의 최소 철근량으로 사용하였다⁽¹⁾.

국내 시방서 규정은 횡토압은 정지토압을 사용하며 수직 압력에 의해 생기는 횡하중은 정지 토압 계수를 적용한다. 프리캐스트 세변 콘크리트 암거에 대한 강도감소계수 규정이 없으므로 일반적으로 휨 부재는 적절한 품질관리로 공장 생산된 프리캐스트 부재로서 0.9를 사용하며 휨과 축방향압축을 겸하여 받는 부재는 0.65를 사용하였고 하중계수는 사하중, 횡토압, 활화중에 대하여 각각 1.3, 1.7, 2.15를 사용하였다. 암거에 접근하는 차량에 의한 횡하중의 증가는 포장두께에 상관없이 $0.5t/m^2$ 을 적용하였다. 슬래브와 벽체의 철근량은 식(2)를 사용하여 구할 수 있으며 최소 철근량⁽⁶⁾보다 적을 경우 최소 철근량을 사용하였다. 암거에 관한 온도 및 건조수축 철근량은 국내 시방서에 규정이 없으므로 일반적으로 사용하는 철근량 $2.65cm^2$ 를 사용하였다.

두개의 단면에 위의 모든 조건들을 고려해 AASHTO 시방서와 국내 시방서로 각각 구조해석과 설계를 통해 요구되는 철근량은 표1과 같다.

표 1. AASHTO 시방서와 국내 시방서에 의한 철근량

시 방 서	Span × Rise (ft × ft)	두 개(in)		슬 래 브(in ² /ft)			벽 체(in ² /ft)	
		슬래브	벽체	슬래브 저면	슬래브상면	그 외 부분	벽체 외벽	그 외 부분
AASHTO	14 × 5	14	12	0.57	0.34	0.34	0.48	0.29
HS20+국내시방서				0.58	0.44	0.44	0.62	0.37
DB24+AASHTO				0.73	0.43	0.34	0.60	0.29
국내시방서				0.70	0.47	0.44	0.75	0.37
AASHTO	14 × 9	14	12	0.66	0.34	0.34	0.44	0.29
HS20+국내시방서				0.63	0.44	0.44	0.53	0.37
DB24+AASHTO				0.83	0.37	0.34	0.55	0.29
국내시방서				0.77	0.44	0.44	0.64	0.37

4. 결 론

본 연구에서는 프리캐스트 세변 콘크리트 암거의 구조해석을 통하여 AASHTO 시방서와 국내 시방서를 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 같은 윤하중 HS20이 작용하는 경우, AASHTO 시방서와 국내 시방서의 슬래브 저면에 대한 철근량은 강도감소계수의 0.05정도의 차이로 유사한 철근량이 나타났지만 벽체 부분에서는 강도감소계수 차이 0.3과 하중계수의 차이로 인하여 국내 시방서에 의한 철근량이 AASHTO 시방서에 의한 철근량보다 30%정도 크게 나타났다.
2. AASHTO HS20과 국내 시방서 DB24로 구한 철근량의 차이는 하중계수의 영향도 있지만 윤하중과 강도감소계수의 영향이 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 차량 축하중에서 AASHTO HS20에 비해 국내 시방서 DB24는 32.4%가 크기 때문에 철근량이 증가하는 것을 볼 수 있다.

3. 본 연구에서 사용한 배력철근의 최소량과 국내 지방서에서 일반적인 콘크리트 구조물에 사용되는 온도 및 건조수축 철근량 사이에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

프리캐스트 세변 콘크리트 암거는 공사 기간의 단축, 교통체증의 원활, 최대 강우량시 향상된 배수 능력등 많은 이점이 있으므로 기능적으로나 구조적으로 결함이 있는 교량의 대체방안으로 국내에서도 프리캐스트 세변 콘크리트 암거의 사용이 필요하다. 국내 지방서의 일반적인 콘크리트 구조물에 대한 규정을 사용한 철근량은 국내 지방서가 AASHTO 지방서에 비해 과다설계로 나타났으므로 국내 지방서에서도 프리캐스트 세변 콘크리트 암거에 관한 규정이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. Frederick, G. R., Tarhini, K. M., and Mabsout, M. E., Development of a Design Procedure for Three-Sided Concrete Culverts, *Structural Performance of Pipes*, G.F. Mitchell, S.M. Sargand, and K. White, Eds., Ohio University, Athens, OH, 1998, pp. 63-73.
2. GTICS System Laboratory, School of Civil Engineering, Gorgia Institute of Technology, *GTSTRUDL User's Manual*, Vol. 3, Atlanta, Georgia, 2000.
3. Taly, N., *Design of Modern Highway Bridges*, McGraw-Hill Co., 1998, pp. 178-163, 292-456.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials, *Standard Specifications for Highway Bridges*. 16th Edition, 1996.
5. Tonia, E., *Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridges*, McGraw-Hill, Inc., 1995, pp. 132-134.
6. 건설 교통부, 도로교 표준시방서(설계편), 1996, pp. 37-71, 78-82, 445-454.
7. 건설 교통, 도로교 표준시방서(하중-저항계수 설계편), 1996, pp. 14-22.
8. 과학기술, 토목·건축을 위한 구조물의 설계 실예, 1998, pp. 413-427.