

# 폐기물의 재이용과 경량 합성 상판 개발을 위한 실험적 연구

## An Experimental Study on Reusing of Waste Materials in Light-Weight Composite Bridge Deck for Civil Structures

김경진\*

박제선\*\*

민창동\*\*\*

오오다 도시아끼\*\*\*\*

Kim, Kyeong-Jin Park, Je-Seon Min, Chang-Dong Ohta, Toshiaki

### 요 약

본 논문은 주변에서 손쉽게 구할수 있는 빈강통과 플라스틱재등의 폐기물을 토목 및 건축구조물의 시공재료로서의 재활용과 부착성이 뛰어난 발포경질우레탄을 복합화하여 중·소 span의 교량에 대한 경량화를 꾀하기 위한 하나의 실험적 연구이다.

또한 기존의 현장 시공 단순화를 위해 강 콘크리트 합성 상판의 이미지와는 별도로 새로운 구조적 합리성과 재활용이라는 관점에서 연구된 것이다.

연구결과, 경질우레탄 층내에 강통을 봉입한 경우 저탄성계수인 우레탄이 변형을 흡수하기 때문에 소요의 구조특성을 확보하는 것이 가능하였고, 또한 경질우레탄의 존재로 강판 및 내부의 강통에 방청 효과와 응력전달에 유효하다는 것이 판명되었다.

### Abstract

In this paper, a development of composite bridge decks was proposed for design of civil and architectural structures to reuse the empty cans and plastics etc.

The experimental specimens were made of rigid foamed urethane taking advantage of corrosionlessness in steel bridge decks, and simplicity in the field construction. Therefore, introducing the empty cans into the rigid foamed urethane, this experimentation have been carried out to demonstrate and evaluate the structural behavior by means of loading and vibration tests in composite bridge decks.

Consequently, it was possible that had a good effect on the structural behavior by absorbing the strain due to the low elasticity of rigid foamed urethane, and not influence to cans in composite bridges.

**Keywords** : waste materials, composite bridge, urethane composite, vibration, punching shear, recycling.

\* 정회원, 구주대학 건설도시공학과 연구원, 공학박사

\*\* 정회원, 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 정회원, 충주산업대학교 토목공학과 교수, 공학박사

\*\*\*\* 구주대학교 건설도시공학과 교수, 공학박사

● 본 논문에 대한 토의를 1994년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 1995년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

전 세계적으로 환경보전에 관한 목소리가 높아지고 있는 지금, 일반 폐기물 및 건설 산업 폐기물의 처리는 심각한 문제가 아닐 수 없다. 그러나 이러한 폐기물을 건설재료로 재활용하여 토목 및 건축 구조물에 이용하게 된다면 그 효과는 일석이조가 될 것이다.

지금까지의 토목 구조물은 주변 환경에서 쉽게 얻을 수 있는 건설재료만으로 시공을 계속해 왔으나, 거의 한계에 부딪힌 자원 문제도 고려하지 않을 수 없기 때문에, 버려지는 자원을 재활용하는 연구는 신중히 검토되어야 한다고 생각된다.

실제로 일본의 경우, "Recycling법"을 시행하여 자원 절약 및 재생자원의 효과적인 이용 등을 국가적 차원에서 종합적으로 연구하고 있다.

본 연구는 주변에서 손 쉽게 구할 수 있는 빈 깡통과 플라스틱 재 등의 폐기물을 토목, 건축 구조물의 시공 재료로 재활용하기 위한 연구 중의 하나이다. 중·소 span을 갖는 교량을 대상으로 하여, 기존의현장 시공 단순화를 위해 개발된 강·콘크리트 합성 상판교의 이미지를 쇄신하여, 새로운 구조적 합리성과 재활용이라는 두 가지 큰 특징을 갖는 경량 합성 상판의 개발을 목적으로 본 연구를 실시하였다.

## 2. Recycling교의 개념

그림 1에서와 같이 Recycling교의 개념은 (1) 설계상 균열을 허용하기 위해 역학적으로 무시된 인장역의 콘크리트를 경량(비중 0.04정도)화 하기 위해, 접착성, 비투수성이 우수한 발포성 경질 우레탄으로 치환하는 것으로, 더욱 경량화시킴과 동시에 강판 내면에서의 내부식성의 향상을 꾀한 것이며, (2) 경질 우레탄층의 내부에 빈 깡통과 플라스틱등의 폐기물을 넣음으로써 생활 폐기물 처리에 일조하는 것은 물론 재 활용을 가능하게 하는 것이다.

(1)의 경우에 관해서는 太田 등이 일련의 기초 연구와 시험 시공으로부터, 구조적인 특성과 시공성에 관해서 검토한 바 있다.<sup>(1,2)</sup> 본 연구는 진술한

경량 합성 상판교의 경질 우레탄 층내에 빈깡통을 봉입하여 역학적 기동성을 조사하고 우레탄 압축시험, 합성보 및 합성판 공시체의 정적 재하, 진동 시험등 일련의 실험에 대한 연구이다.

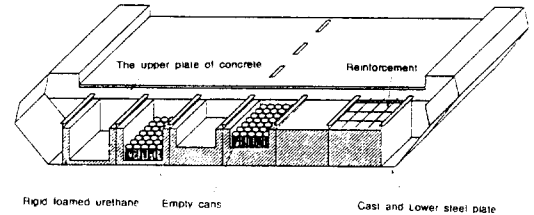


Fig. 1 Concept of recycling bridge deck

## 3. 빈 깡통을 봉입한 경질 우레탄의 압축 특성

### 3.1 실험 내용 및 방법

발포성 경질 우레탄은 2가지 종류의 원액, 즉 T액과 R액의 2가지 성분을 접촉시켜 생성시킨 그 혼합액을 공기와 섞어서 불어 넣는 분사 방법과 직접 기포 집으로 충전시키는 방법이 있다.

본 실험에서 빈 깡통을 봉입한 상태에서 우레탄의 압축 특성을 조사하기 위하여, 그림 2와 같이  $\phi 53 \times 103\text{mm}$ 의 빈 깡통을 배치하여, 우레탄의 생성 방법등을 Parameter로 하여 전부 6종류로 16개의 각주형 공시체를 제작하여 정적 및 반복 압

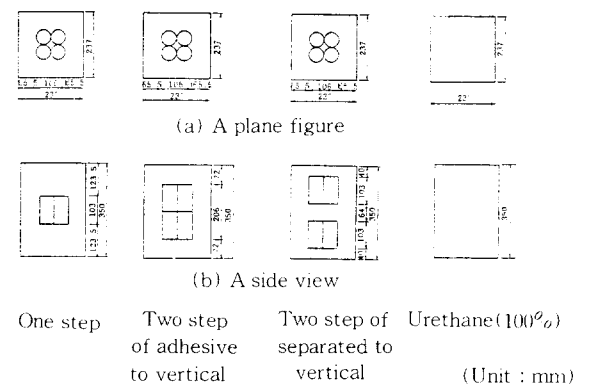


Fig. 2 Arrangements of empty can and specimen dimensions.

Table 1 Comparison of specimens

Specimen Name	Displacement of empty cans	Filling Method of Urethane	Number of cans (φ53×103mm)		Number of Spec.	
			Static	Fatigue	Static	Fatigue
L10	one stage	infusion	1 stage(4)	2	0	
L2C	two stage(adhesive)	infusion	2 stage(8)	2	1	
L2S1	two stage(separated)	infusion	2 stage(8)	2	1	
L2S2	two stage(separated)	spout	2 stage(8)	2	1	
UU1	two stage(separated)	spout	2 stage(8)	2	0	
UU2	two stage(separated)	infusion	2 stage(8)	2	1	

Table 2 The properties of rigid foamed Urethane

Specification	Direction to measurement	
	Parallel to Layer	Perpendicular to Layer
Compressive Strength(kgf/cm <sup>2</sup> )	25	12
Tensile Strength(kgf/cm <sup>2</sup> )		3.0
Shear Strength(kgf/cm <sup>2</sup> )	20	
Elasticity(kgf/cm <sup>2</sup> )		1.1×10 <sup>3</sup>
Absorption Ratio(%/Day)		1.8
Thermal conductivity(Kcal/cmh°C)		0.016
Independent bubble Ratio(%)		90
Coefficient of linear expansion(-30~23°C)		1.8×10 <sup>-3</sup>

축 시험을 행하였다.(표1 참조) 제하시험은 100TON 만능시험기와 피로시험기를 사용하여 행하였으며, 5TON용량의 Load Cell로 정적 하중을 측정하였다. 경질 우레탄의 대표적 특성치는 표2와 같다.

3.2 실험 결과 및 고찰

그림 3과 같이, 경질 우레탄의 발포율 및 강도 특성은 원래의 배합과 생성법에 따라 변동하는 것이 일반적이지만, 본 실험에서 배합의 대부분을

주입법에 의한 우레탄의 강도가 분사법에 의한 것보다 상회했다.

빈 강통 봉입의 공시체에서는 빈 강통 상하의 우레탄 부분에 압축변형이 집중하였으며, 그 이후 빈 강통 부분에 변형이 전파하기 때문에 변형 강화와 같은 현상을 볼 수 있었다. 또한 그림 5는 피로시험 결과로서, 피로시험에서는 속도를 2~3 Hz의 징현파로 100만회를 반복하였다. 최대하중

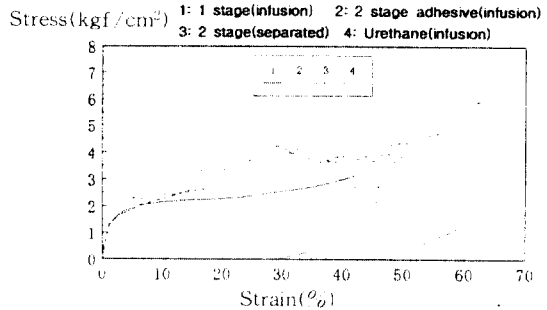


Fig. 3 Results of static compressive test

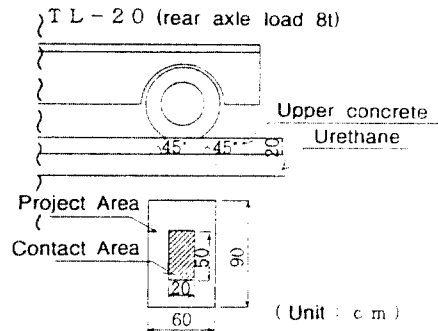


Fig. 4 Distribution area of vehicle load

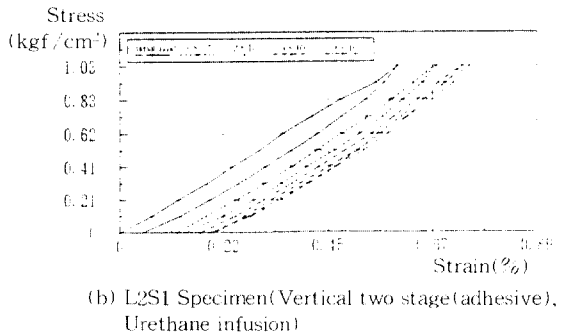
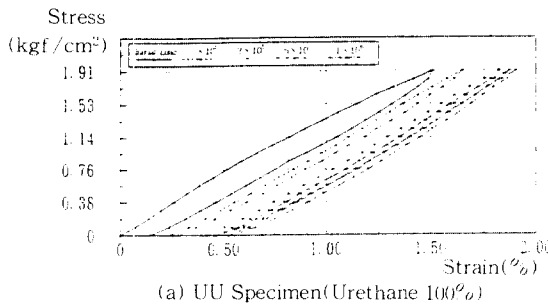


Fig. 5 Results of fatigue test

은 정적 시험에 있어서 탄성 한계 응력의 80%로 하였다. 본 실험에서는 어떠한 경우든 공시체가 100만회의 반복재하후의 잔류 변형이 0.5%정도 까지 현저한 성상 변화는 없었으며, 또한 우레탄의 저탄성계수로 인하여 변형은 우레탄 층에 집중하기 때문에 내부의 빈 깡통에는 변상이 보이지 않았다.

이상의 결과로부터 실제의 교량에 적용하여 관찰해 보면, 1등급의 후분하중 8.0tf이 콘크리트 상판에 개입하여 하부의 우레탄에 작용하는 지압응력도가 상판두께를 20cm로 가정하면 약 1.48kgf/cm<sup>2</sup>로 추정된다.(그림 4참조) 그 결과 안전율 2~3으로 가정하면, 경질 우레탄의 필요 압축강도(탄성한계)는 3~5kg/cm<sup>2</sup>정도로 생각된다.

#### 4. 합성보의 정적 휨 및 진동 특성

##### 4.1 실험 내용 및 방법

기존 합성 상판형의 단면에 인장역의 콘크리트를 경질 우레탄으로 치환한 경우, 콘크리트로 채워진 단면의 경우와 비교해서, 동등한 휨 특성과 탁월한 진동 감쇄 효과가 얻어질 수 있다는 것이 밝혀진 바 있다.<sup>(1,2)</sup>

본 연구에서는 상기의 경질 우레탄층 내부에 빈 깡통을 봉입한 경우 그 휨 특성과 진동 감쇄 성능에 관한 문제를 검토하기 위하여 폭 50cm, 높이 35cm(콘크리트 상판 두께 16cm, 우레탄층 19cm), 길이 420cm로 두 종류의 합성보 공시체를 제작하였다. 또한, 강판과 콘크리트의 유동을 없애기 위해 T형강 웹 상단으로부터 4cm아래에 15cm간격으로 직경 15cm의 구멍을 뚫어 D10철근

을 배근하였다. 공시체의 단면 제원과 재하 방법은 그림 6(a)(b)와 같다. 그림 중  $\phi 53 \times 103\text{mm}$ 의 steel 캔 80개를 휨모멘트가 탁월한 지간 중앙부 대략 105cm 부근에 우레탄을 두께 43.5mm로 내부에 봉입하였다. 사용 재료로 저강판 및 T리브는 판두께 8mm(SS400), 콘크리트의 압축강도 430 kg/cm<sup>2</sup>로 하였고, 경질 우레탄의 추정 압축강도는 약 3kgf/cm<sup>2</sup>의 것을 사용하였다.

합성보의 정적 휨 시험을 위해, 보의 공시체를 지간 4.0m의 단순지지로 하였고, 재하폭 52.4cm의 2점 선하중으로 재하하였다. 또한 각 공시체를 점중 반복 하중으로 하였고, 하중 증분을 2.0tf의 각 단계마다 각 부의 변형과 처짐 및 균열 상황을 측정하였다.

##### 4.2 휨 특성

빈 깡통의 봉입 유무에 관계없이 공시체의 균열 상황을 확인할 수 있었으며, 균열 발생은 하중이 약 50tf일때 지간 중앙의 콘크리트 하단에서 있었다. 또한 파괴하중은 빈 깡통이 없을 경우 65.4tf, 빈 깡통이 봉입되었을 경우 62.1tf로 되었다. 파괴 형식은 양쪽 모두 저강판의 휨 인장 항복에 의해 콘크리트의 압축파괴가 일어났다.

콘크리트의 부분의 균열 폭은 설계하중에 있어서는 압축역(중립축 보다 위)에 있기 때문에 파괴 부근까지 작았으며, 0.2~0.3mm정도 이하로 나타났다. 여기에서 전단에 의한 균열은 생기지 않았으며, 또한 우레탄층에서의 어떠한 변상도 나타나지 않았다.

한편, 실험에 의해 얻어진 지간 중앙점의 하중-처짐 곡선은 그림 7과 같다. 그림에서 계산치는

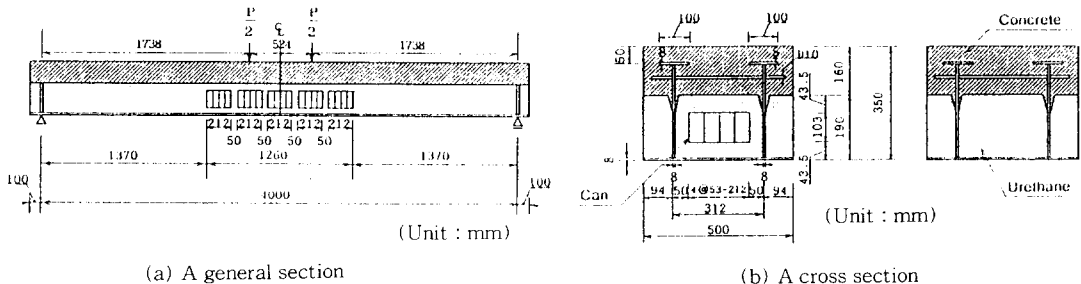


Fig. 6 Cross section details of composite beam

탄성보 이론해에 의한 것이며, 두 종류 시험체의 실험치는 같은 기동을 나타내었으며, 빈 강통의 유무에 따른 영향은 없었다. 또한 탄성치와 비교해 약간 큰 처짐을 보여 주었다. 지간 중앙점에 있는 저항판과 콘크리트 상연의 하중-처짐 곡선은 그림 8, 9와 같이 공시체 모두 35tf 부근까지는 탄성기동을 나타내었으며, 그 이후는 저항판의 항복과 함께 변형이 집중하는 전형적인 휨 성상을 나타내고 있는 것을 알았다. 이상의 결과로부터 본 합성보의 휨 성상의 평가는 기존의 철근콘크리트 단면에 대한 평가법에 준한 방법으로도 가능하다고 생각된다. 본 연구에서는 일본 토목학회의 콘크리트 표준 시방서<sup>(1)</sup>와 도로교 시방서<sup>(2)</sup>의 규정을 적용하여 구한 휨과 좌 하중의 비교값을 표 3에 나타내었다. 표에서 ( )는 실험치의 계산치에 대한 비교이다. 표에서 볼 수 있듯이 빈 강통의 유무에 따른 휨 내력의 현저한 차이는 없었으며, 또한 상기의 계산치와 동등 이상의 결과를 나타내었다. 따라서, 본 합성 상판형의 휨 성상의 평가에 대해 RC이론의 적용이 가능하다고 할 수 있다.

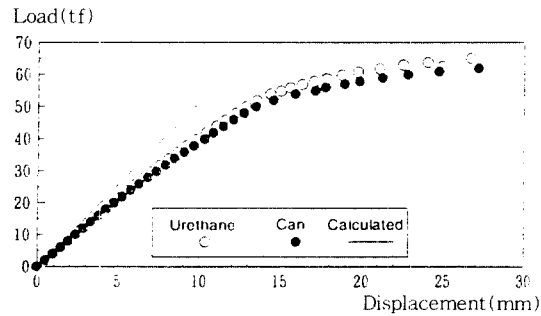


Fig. 7 Relation of load and deflection curve in middle span

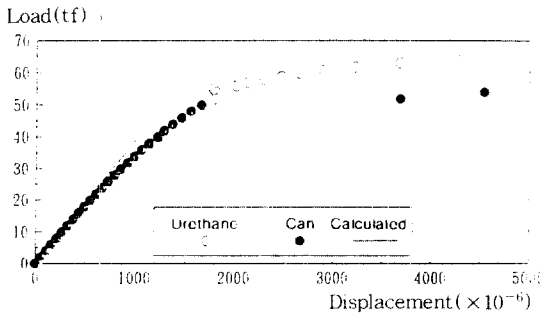


Fig. 8 Relation of load-deflection curve in middle point of steel plate

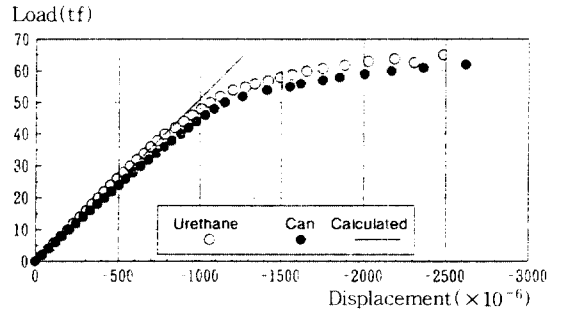


Fig. 9 Relation of load-deflection curve in upper concrete surface

Table 3 Failure load of composite bridge deck

Observed		Calculated
Urethane	can	55.1(1.00)
65.4(1.19)	62.1(1.13)	

#### 4.3 진동 성상

각 공시체에서 얻어진 지간 중앙부에서의 진동 파형은 그림 10과 같으며, 또한 고유진동수와 감쇄정수 및 대수 감쇄율은 표 4와 같다. 이상의 결과에 따라, 고유 진동수 및 감쇄정수(대수 감쇄율)는 빈 강통 봉입의 유무와 관계없음이 밝혀졌다. 이것은 양쪽 모두 단위 체적 중량 및 휨 강성이 대부분 거의 같은 정도로 있기 때문으로 판단된다.

太田 등의 진동시험(1)(2)에 의하면, 본 실험 공시체와 같은 형태의 우레탄 충전 합성보의 감쇄율이 동일 재료로 된 우레탄부가 콘크리트로 치환된 것으로, 중공의 시험체에 대해서 2배 이상으로 된다는 것이 보고된 바 있다. 따라서 빈 강통을 봉입하여 우레탄을 충전한 본 합성 상판은 단순히 빈 강통 등의 폐기물을 별다른 공정없이 건설재료의 일부로 사용하면, 진동 및 소음의 저감효과 뿐만 아니라, 환경 문제의 해결에 큰 효과를 발휘할 것으로 기대된다.

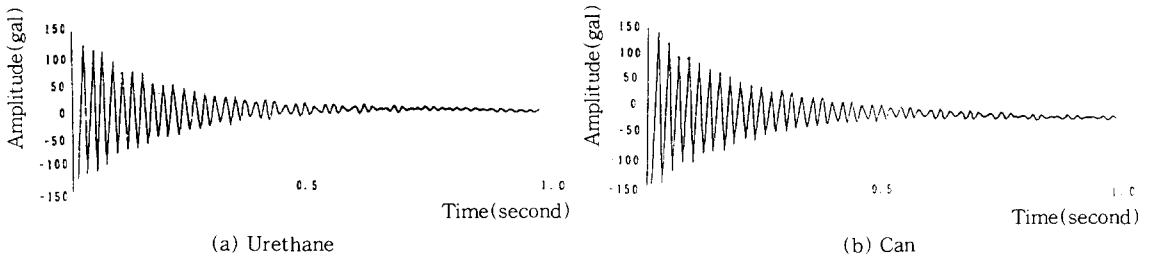


Fig. 10 Vibration of middle span

Table 4 Result of vibration(composite beam)

Type	Natural Frequency	Damping coefficient	A logarithmic damping Ratio
can	47	0.0169	0.182
Urethane	51	0.0159	0.167

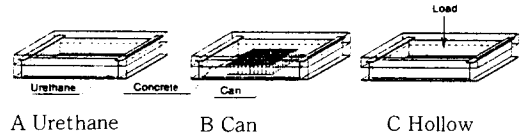


Fig. 11 Skeletons of upper specimen

## 5. 합성판의 정적 편칭 전단 특성

### 5.1 실험내용 및 방법

편칭 전단 시험에 사용한 상판 공시체의 개략도와 단면 제원은 그림 11과 그림 12와 같으며 강통을 봉입한 우레탄 공시체이다. 공시체로는 3가지 종류로서 총 6개를 제작하였다. 즉, 설계상 무시하는 인장역 콘크리트부를 경질 우레탄으로 치환한 A Type, 또한 우레탄 층내에 강통을 봉입한 B Type 및 우레탄부를 중공으로 한 C Type으로 되어 있다. 그러한 단면 제원은 일본 도로교 시방서에 규정된 철근 콘크리트의 최소 두께인 16cm에 대한 3/4 scale의 콘크리트 두께인 12cm로 하였고, 우레탄 층 또는 중공부의 두께를 16cm로 하였으며, 전장 1.4×1.4m, 지간 1.2m의 두변이 단순 지지된 1방향 판으로 하였다.<sup>(5)</sup>

재하방법은 중앙 1점 집중하중으로 편칭 전단 시험으로 하였고, 재하판의 크기는 공시체의 scale비 3/4에 해당하는 TL-20 차륜하중의 후륜 접지면적의 재하폭 375×150mm로 하였다.

본 실험에서는 설계상 중공 상태와 같이 무시된 우레탄의 존재와 강통 봉입에 따라 역학적 영향을 검토하기 위하여 지간 1.2m의 T리브 내부에서는 일체의 미끄러짐 방지 장치를 설치하지 않았다. 사용재료는 저강판( $t=4.5\text{mm}$ )과, T리브( $t=$

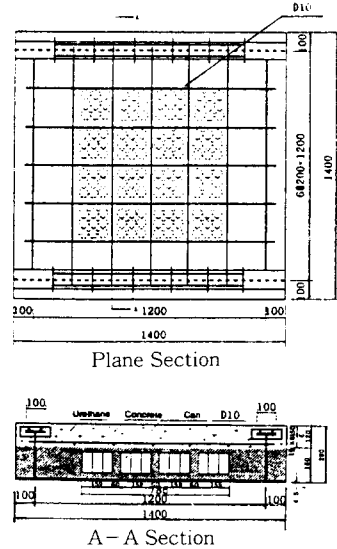


Fig. 12 Dimension of specimen

6mm) 모두 SS400을 사용하였으며, 철근은 SD295A(D10), 콘크리트의 압축강도는 430kgf/cm<sup>2</sup>로 하였다.

### 5.2 정적 편칭 전단 특성

그림 13(a)~(c)에는 각 형태의 공시체에 대한 파괴후의 균열 분포 상황을 나타내었다. 공시체의

종류를 모두 살펴보면, 어느 경우에도 10tf가 작용할 때 지점 T리브 부근의 측면 콘크리트에 균열이 관찰되며, 하중의 증가와 함께 균열도 증대하는 경향이 확인되었다. 최종적으로 상면 콘크리트의 재하점 부근에서 전형적인 펀칭 전단 파괴를 일으키게 되었다. 우레탄을 충전한 상판에서는 강통 봉입의 유무에 따른 차이는 별로 없었으며, 파괴 시 하중 제거에 따라 우레탄의 복원과 함께 그림과 같은 방사성의 균열이 관찰되었다. 그러나 중공 상판에 관해서는 우레탄을 충전한 형태보다도 진술한 재하중의 지점 T리브 부근의 균열 집중이 현저하게 나타났으며, 최종적인 방사상 균열도 우레탄 충전의 경우처럼 두드러진 효과가 없었다.

공시체의 종류에 따른 재하점 위치에 있어서 저항판 및 콘크리트 상면에서의 처짐 성상의 비교는 그림 14, 15와 같다. 우레탄 충전의 공시체에 관해서는 강통 봉입의 유무에 관계없이 저항판에서 동등의 처짐을 나타내는데 반해, 중공 상판에 있어서는 모두 다른 성상을 나타내고 있다는 것을 알았다. 즉, 이것은 저항판이 재하면과 역방향의 처짐을 일으키며, 콘크리트와 저항판이 명확히 독립된 거동을 하고 있다고 판단된다. 또한, 10tf 이상의 하중 증가와는 관계없이 중공 상판의 처짐 증가는 우레탄 충전 상판보다 현저하며 강성의 저하

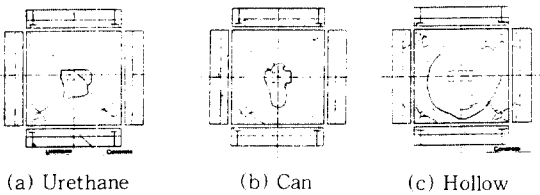


Fig. 13 Sketch of failure surfaces

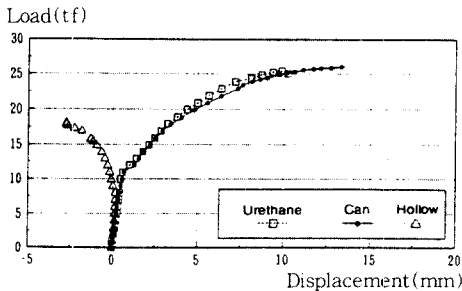


Fig. 14 Relation of load-displacement in steel plate (Before Loading)

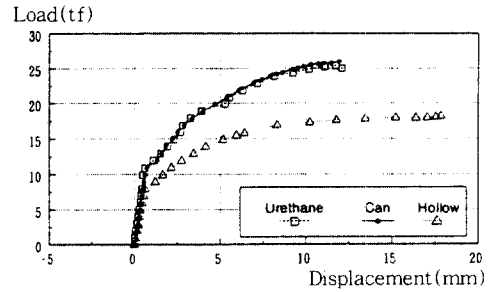


Fig. 15 Relation of load-displacement in loading point

가 뚜렷하였다.

이상과 같이 우레탄의 존재에 따라 연직방향으로, 콘크리트에서 저항판으로의 응력이 전달되고 있다고 판단된다.

공시체의 펀칭 전단 파괴하중의 비교치는 표 5와 같다. 여기에서 ( ) 내의 수치는 각 공시체의 중공상판에 대한 비율로써, 계산치는 최종적인 파괴에 대해서 상부의 콘크리트 판과 저항판과의 합성 효과가 불완전 하다고 가정하여, 상부의 철근 콘크리트 상판만을 고려하여 일본 토목학회 콘크리트 표준 시방서에 따라 펀칭 전단 내하력을 계산한 계산치이다.(4)

따라서 경질 우레탄을 충전함에 따라 중공의 경우보다 약 40%의 전단 내력 증가가 확인 될 수 있었으며, 또한 강통 봉입 유무에 따라 펀칭 전단 내력의 영향은 없었다. 그러나 저항판과 콘크리트 상판과의 합성 작용이 기대하기 어렵기 때문에, RC상판에 대한 펀칭 전단 내력의 계산치가 대부분 일치한 것으로 보인다.

Table 5 Punching shear loads of specimen

Urethane	Experimentation(tf)			Calculated(tf)
	Can	Hollow		
25.7 (1.39)	26.2 (1.42)	18.5 (1.00)		26.2

## 6. 종합적 요약 및 고찰

본 연구에서 얻어진 결과의 종합적 요약과 고찰을 해보면 다음과 같다.

(1) 경질 우레탄의 압축강도는 원액의 배합 및 생성방법에 따라 다르며, 최대강도의 1/2 정도까

지는 대부분 탄성적인 변형 성상을 나타내었다.

(2) 정적, 동적 압축 시험에 의하면 변형은 경질 우레탄부에 집중하고, 내부에 봉입된 강통에는 어떠한 변형이 없었다.

(3) 상판 콘크리트 최소 판두께를 20cm인 1등교로 가정할 경우, 사용하는 경질 우레탄의 필요 압축강도는 3~5 kgf/cm<sup>2</sup> 이상으로 추정된다.

(4) 합성보의 정적 휨 성상에 관해서는 경질 우레탄 층내에 강통을 봉입해도, 강통을 봉입하지 않은 것에 비해 내력 및 변형 거동에 대한 차이가 없었으며, 양쪽 모두 양호한 휨 성상을 나타내었다.

또한 진동 감쇄성에 관해서도 강통의 유무에 따른 차이는 대부분 없었으며, 양쪽 모두 좋은 진동 감쇄 성능을 보유하고 있다는 것이 확인되었다. 합성판의 정적 편칭 전단은 우레탄 봉입의 편칭 전단 내력과 비교하여, 중공 상판에 대해 40% 정도 상회하였다. 편칭전단의 강통 봉입 유무에 따른 내력, 변형의 차이는 거의 없었으며, 또한 충전된 경질 우레탄이 연직 방향의 지압 응력의 전달에 효과를 발휘하고 있다는 것을 알 수 있었다.

## 7. 결 론

이상과 같이 경질 우레탄 층내에 강통을 봉입한 결과, 저탄성계수인 우레탄이 변형을 흡수하기 때문에, 강통 부분에 악영향을 미치지 않는 소요의 구조 특성을 확보하는 것이 가능하였고, 또한 설계에는 반영되지 않은 경질 우레탄의 존재가 강판과 내부의 강통에 대해서 방청 효과는 물론 상하의 콘크리트 상판, 저강판의 응력 전달에 유효하다는 것등이 판명되었다.

따라서 본 연구에서는 구조물 내부에 폐기물을 재활용한다는 개념을 제창한 것인데, 현 상황에서

는 폐기물의 회수 및 선별, 재활용에 대한 경제적인 측면등 앞으로 더 연구해야 할 부분이 많은 것도 사실이다. 자원 절약과 재활용이라는 관점에서 채산성과 처리를 위한 국가 차원의 충분한 검토가 있어야 함은 물론이다. 주변에서 쉽게 구할 수 있는 소재를 "Recycling"에 대한 개념으로 확산시켜 단순히 교량만이 아니고, 토목 구조물 전반에 걸쳐 적용할 수 있다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 太田貞次, 官坂睦夫, 山田信一, 具志保武, 輕量充墳材を使用した合成型橋の開發, 日本土木學會第45回學術講演概要集, pp 522-523, 1990. 9.
2. 太田貞次, 深澤泰晴, 檜見勇, 硬質ウレタンを充墳した合成型橋の開發研究, 構造工學論文集, Vol. 39A, pp 1279-1288, 1993. 3.
3. (株)佐藤組, Recycling Bridge(中空部適用材料についての調査報告書), 1992. 7.
4. 土木學會, コンクリート標準示方書(1991年版)設計編
5. 日本道路協會, 道路橋示方書 同解説(1990年制定)
6. 太田俊昭, 空きかんを利用した合成床版橋の開發, 1992年度 日本土木學會西部支部 研究發表會講演概要集, pp 16-17, 1993. 3.
7. 太田俊昭他, 輕量充墳材を用いた合成床版の靜的力學特性, 1992年度 日本土木學會西部支部研究發表會講演概要集, 1993. 3.
8. 太田俊昭他, 輕量充墳材として合成床版橋に用いた硬質ウレタンの力學的影響, 日本土木學會第48回學術講演會講演概要集, pp 78-79, 1993. 9.
9. 太田俊昭他, リサイクル橋(空きかん廢棄物を封入した輕量合成床版橋)の開發に關する基礎的研究, 日本土木學會第48回學術講演會講演概要集, pp 306-307, 1993. 9.

(접수일자 : 1994. 5. 30)