

분리식 지주 단부장치에 이용되는 인덴티드 타입 볼트의 분리파괴에너지 Breakaway Fracture Energy(BFE) of Indented Type Bolt for Breakaway Sign Supports

고만기* · 김기동** · 전성민*** · 성정곤****

Ko, Man Gi · Kim, Kee Dong · Jun, Sung-Min · Sung, Jung-Gon

Abstract

Breakaway support for small signs of size $0.293 \text{ m}^2 \sim 0.360 \text{ m}^2$ using indented tube type bolt of D12 mm with 6 mm inner diameter has been developed and the structural strength of the support system for the wind load was verified through static shear and tension tests. One important value in understanding the dynamic behavior of sign post and impact vehicle is the fracture energy of the sign support. In this study, fracture energy needed to break the sign support was estimated by pendulum test and computer simulation using LS-DYNA program. Support system composed of 3 indented bolts was found to sustain the 43.1 kg~51.2 kg wind load safely. Fracture energy for one indented bolt was measured as 163.3J from the pendulum test, and was calculated as 153J from the LS-DYNA simulation. The closeness between these two values verified the validity of the simulation model.

Key words : Breakaway Sign Support, Indented Bolt, Impact, Fracture Energy

요 지

본 연구는 면적 $0.293 \text{ m}^2 \sim 0.360 \text{ m}^2$ 의 소형표지판용 지주의 풍하중에 대한 구조적 안전성을 유지하면서도 작은 충돌에도 분리가 일어나도록 고안된 내경 6 mm의 D12 mm 중공형 인덴티드 볼트를 이용한 소형지주용 브레이크어웨이 단부장치의 구조적 안전성을 정적 전단 및 인장실험으로 입증하고 동적특성을 이해하는데 기본이 되는 인덴티드 볼트의 분리 파괴에너지를 펜듈럼 실험과 비선형 동적해석 프로그램인 LS-DYNA 프로그램을 이용하여 구하고 두 가지 방법을 비교한 것이다. 인덴티드 볼트 3개로 이루어진 단부장치는 풍하중 43.1 kg~51.2 kg를 충분히 지지할 수 있는 것으로 나타났으며 인덴티드 볼트 1개 당 파괴에너지는 펜듈럼 실험값이 163.3J, 시뮬레이션 값이 153J로 유사하게 계산 되어 모델의 유효성이 확인 되었다.

핵심용어 : 브레이크어웨이 단부장치, 인덴티드 볼트, 충격, 파괴에너지

1. 서 론

1988년부터 2004년 사이의 교통사고 통계(도로교통 안전관리공단, 2005)를 살펴보면 전체 교통사고 사망자는 2000년을 정점으로 지속적으로 감소하고 있으나 전주 및 표지판 지주에 충돌함으로써 발생한 단독차량사고 사망자는 2002년 이후 증가추세에 있으며 전체 교통사고의 치사율이 3%인데 반하여 지주 충돌사고는 20%에 달하는 높은 치사율을 보이고 있어 이에 대한 대책이 절실하다. 도로변의 안전을 확보하기 위해서는 모든 노변 시설물을 도로 노변 위험지역 밖에 설치하는 것이 노변 안전에 가장 확실한 해법이 되겠으나, 표지판, 신호등, 조명주 등의 시설물은 적절한 기능을 위해서 도로변 가까이 위치해야 한다. 일반적으로 충돌에 대한 별도의 고려 없이 기초에 강결된 지주에 차량이 충돌하는 경우, 소

형 지주는 과다한 변형 혹은 급격한 속도 변화로 탑승자의 안전을 위협하며 중대형 지주는 강성체로서 차량 및 탑승자에 큰 충격력을 주어서 치명적인 위협이 된다. 도로변 지주의 이러한 위험성은 Roadside Safety 분야의 중요한 이슈로 부각되어 미국에서는 이미 1960년대 중반부터 브레이크어웨이 지주 단부장치가 개발되어 도로변에 설치된 표지판 지주나 조명용 지주에 사용되고 있다. 브레이크어웨이 지주 단부장치는 지주와 기초의 연결부를 강결 시키는 대신 풍하중에 대한 구조적 안전성은 확보하면서 충격하중 작용 시 연결부가 분리되어 소형차의 충돌에 대한 충격력, 또는 속도변화를 최소화시킴으로써 탑승자의 위험요인을 제거하는 개념으로, 여러 가지 장치가 고안되어 왔으며 1975년에는 AASHTO (AASHTO, 1975)의 설계기준으로 채택되었다.

우리나라의 경우 Roadside Safety의 중요한 축을 형성하는

*정회원 · 공주대학교 방재연구센터 · 건설환경공학부 교수(mgko@kongju.ac.kr)

**정회원 · 공주대학교 방재연구센터 · 건설환경공학부 교수

***정회원 · 경동기술공사 구조부 · 사원

****한국건설기술연구원 도로연구부 · 수석연구원

도로변에 설치된 각종 지주의 위험성에 대한 대책이 전무한 실정이다. 본 연구는 여러 가지 지주 형태 중에서 소형 표지판 용 지주로 많이 쓰이는 D60 mm($t = 3.2$ mm) 단면을 갖는 파이프 형 지주에 사용할 수 있는 인텐티드 볼트를 사용하는 브레이크어웨이 단부 장치를 개발하고 개발된 단면의 중요한 동적 특성인 파괴에너지를 실험 및 해석적으로 결정한 것이다.

2. 인텐티드 볼트를 이용한 지주 단부장치

분리형 단부장치 설계 시 구조 측면에서 고려하여야 할 조건은 크게 2가지이다. 첫째, 단부 장치는 충돌이 일어나지 않는 정상 시 지주를 지지해야 한다. 이 조건에 대한 최악의 하중조건은 일반적으로 풍하중이다. 둘째, 단부장치의 지주가 소형차 충돌시에 기초와 분리될 수 있어야 한다. 풍하중에 의한 지주의 지지력검토는 지점의 전단력과 모멘트를 조사하여 이루어진다.

본 연구에서는 원형 지주의 단부장치로 그림 1과 같은 형태를 고안하였다. 제시된 브레이크어웨이 단부장치는 콘크리트기초에 매입된 앵커와 베이스 플레이트 고정 볼트(D20 mm) 사이를 D12 mm볼트에 내경 6 mm의 홀을 둔 중공형 인텐티드 볼트 3개로 나사 연결하여 구성된 것으로 재료는 SPS400이다. 이 장치는 인텐티드 볼트와 다른 볼트 간 조립 및 분리가 가능하며 차량 충돌 시 인텐티드 볼트의 전단 파괴를 유도하여 충격을 완화시켜 탑승자의 안전을 도모하는 시스템으로 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 첫째, 차량 충돌 후 지주의 파괴가 발생하였을 때, 파손이 인텐티드 볼트에서만 일어나며, 앵커 볼트 및 베이스 플레이트 고정 볼트 사이와 인텐티드 볼트가 각기 분리 가능하기 때문에 사고 후 인텐티드 볼트만 교체하면 된다. 따라서 지주의 재사용이 가능하고 유지보수가 용이하다. 둘째, 기존 콘크리트에 지주를 설치할 경우 수평상태 유지를 위해 무수축 모르타르로 정밀하게 시공해야 했지만, 수평조절부재를 통해 지주의 수평조절이 가능하므로 기초의 정밀도가 낮아도 시공이 용이하다. 그림 1의 하단 베이스 플레이트는 기초 콘크리트의 상단부에 해당된다.

2.1 표지판 지주가 받는 풍하중

도로교통 안전표지판의 설치규격은 설치높이의 기준으로 일



그림 1. 인텐티드볼트를 이용한 지주단부 장치

반도로의 주의, 규제, 지시표지판 및 보조표지의 높이를 190 cm(건설교통부, 2003)으로 규정하고 있고 설치된 표지의 크기는 60 km/h 이하 도로에서는 삼각형의 경우 한 변의 길이가 90 cm, 사각 및 원형의 경우 한 변의 길이를 60 cm로 하고, 80 km/h 이상 도로에서는 삼각형의 경우 한 변의 길이가 120 cm, 사각 및 원형의 경우 한 변의 길이를 90 cm로 한다. 80 km/h 이상 도로의 경우 교통안전표지판의 대부분이 가드레일 바깥쪽에 설치되어있어 충돌위험이 적다. 따라서 본 연구에서는 60 km/h 이하 도로의 경우에 대하여 검토하기로 한다.

도로표지의 설계 풍하중(W)은 다음 식에 따라 산정한다(건설교통부, 2003).

$$W = pA \quad (1)$$

여기서, p : 설계 속도압(kg/m^2), A : 유효 면적(m^2)

한편 설계 속도압 즉, 단위면적당 작용하는 풍하중 $p(\text{kg/m}^2)$ 는 다음 식에 의해 산정한다.

$$p = \frac{1}{2} \rho V_d^2 G C I \quad (2)$$

여기서, ρ : 공기밀도($\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4$), V_d : 설계풍속(m/s), G : 거스트 영향 계수, C : 항력계수, I : 중요도 계수

식 (2)에서의 공기밀도는 기온($^{\circ}\text{C}$)과 기압(mmHg)을 이용하며 고온계에서는 $0.1195(\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4)$, 저온계에서는 $0.131(\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4)$ 을 표준으로 한다. 단 울릉도는 $0.115(\text{kg}\cdot\text{s}^2/\text{m}^4)$ 를 표준으로 한다. 또 설계풍속은 각 지역을 고려한 기본풍속과 고도 및 노출환경계수를 고려하여 적용한다. 거스트 영향 계수의 경우 구조물에는 평균풍속에 의한 항력 외에도 변동풍속에 의한 변동적인 항력이 작용하는데, 이와 같은 변동적인 항력에 의한 구조물의 변형과 진동 효과를 고려하기 위해 거스트 계수 1.9를 적용한다. 중요도 계수는 건축물의 용도, 사회성, 경제성 및 중요도를 고려한 설계목표수명에 따라 결정되며, 단주식 도로표지와 복주식 도로표지는 설계목표수명 10년, 편지식 도로표지, 현수식 도로표지, 문형식 도로표지는 설계목표수명 50년을 갖도록 각 도로표지의 형식별로 다음에 따라 중요도 계수를 적용한다.

도로표지의 설계에 적용되는 설계풍속(V_d)은 기본풍속에 대해 고도 및 노출환경에 따른 영향을 보정하여 단주 및 복주식의 경우 40 m/s 이고 편지, 현수, 문형식의 경우는 50 m/s이다.

표 1의 계수 값을 식 (2)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$p = \frac{1}{10} V_d^2 C \quad (3)$$

단, C = 항력계수(지주 : 0.7, 표지판 1.2)

식 (3)으로부터 단위면적당 풍하중은 표 2와 같이 요약할 수 있다.

표 1. 표지 종류에 따른 중요도 계수

도로표지의 구분	중요도 계수
단주식, 복주식	0.66
편지식, 현수식, 문형식	0.90

표 2. 단위풍하중

설계풍속(m/s) 구분	단위풍하중	
	단주식, 복주식 (40 m/sec)	편지식, 현수식, 문형식 (50 m/sec)
지주	70 kg/m ²	109 kg/m ²
표지판	120 kg/m ²	188 kg/m ²

표지의 형태는 크게 사각형, 원형, 삼각형, 역삼각형의 형태가 대부분이며 각각의 크기는 표 3에 나타난 바와 같다. 지주는 지름 60 mm이고 두께는 3.2 mm의 강관을 사용한다. 표지가 받게 되는 전체 풍하중을 계산하면 43.1 kg~51.2 kg으로 표 3과 같다. 풍하중에 의해서 지주하단에 가해지는 모멘트는 표 4에 계산된 것과 같이 85 kg·m~109.5 kg·m이다.

2.2 풍하중에 대한 안정성

설계 풍하중에 대한 안전을 검토하기 위하여 브레이크어웨이 단부 장치의 인덴티드 볼트에 대한 전단 및 인장실험을 실시하였다. 그림 1에 제시된 브레이크어웨이 단부 장치에서 전단 및 인장에 가장 취약한 부분은 전단과파괴를 유도하기 위한 인덴티드 볼트이다. 인덴티드 볼트는 그림 1의 D20 mm 볼트 사이에 있는 D12 mm볼트로 내경 6 mm의 홈을 두어 충돌 시 전단과파괴가 쉽게 일어나도록 한 것이다. 풍하중에 의해 인덴티드 볼트에 가해지는 전단력은 표 3에 계산된 바와 같이 43.1 kg~51.2 kg이다. 그림 2는 전단 지그와 전단실험 후 파단 된 시험편이고, 그림 3은 전단 실험에 대한 힘-변위 그래프이다.

실험을 통한 인덴티드 볼트의 전단강도 실험값은 4,400 kg이지만 양면전단이므로 실제 전단강도는 2,200 kg으로 볼 수 있다. 이는 표지판 지주의 전단력 43.1 kg~51.2 kg을 크게 웃도는 것으로 전단에 대한 안전율이 얼마나 크가를 말해준다.

풍하중에 의해 인덴티드 볼트에 가해지는 모멘트는 표 4에 나타난 바와 같이 85kg²m~109.5kg²m이다. 휨모멘트에 대한 안전성을 확인하기 위하여 인장실험을 실시하였으며 그림 4는 실험지그와 실험 후 파단 된 볼트의 형상을 보여준다. 실험 결과로부터 그림 5와 같은 볼트의 하중-변형 관계를 얻을 수 있다.

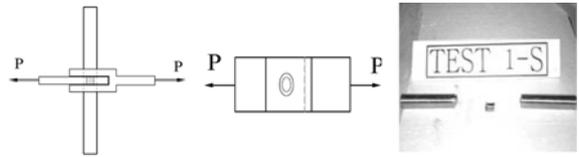


그림 2. 전단실험 및 파괴시편

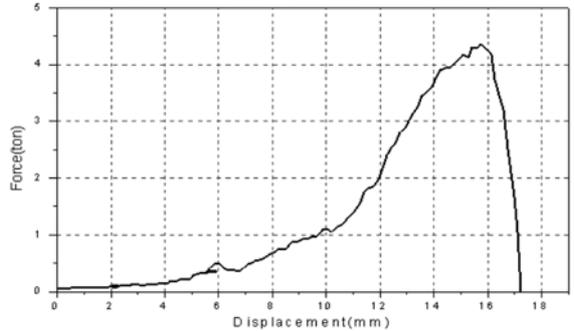


그림 3. 인덴티드볼트의 힘-변위 (전단실험)

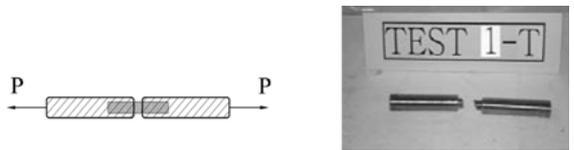


그림 4. 인장실험 및 파괴시편

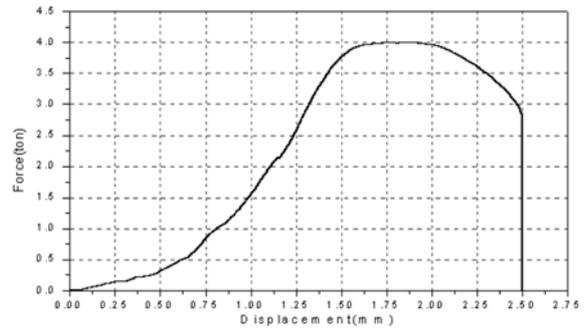


그림 5. 인덴티드볼트의 힘-변위 (인장실험)

표 3. 표지형태에 따른 풍하중

구분	면적(m ²)		풍하중
	표지	지주	
삼각형	0.351	0.114	$(0.351 m^2 \times 120 kg/m^2) + (0.114 m^2 \times 70 kg/m^2) = 50.1 kg$
역삼각형	0.351	0.114	$(0.351 m^2 \times 120 kg/m^2) + (0.114 m^2 \times 70 kg/m^2) = 50.1 kg$
원형	0.293	0.114	$(0.293 m^2 \times 120 kg/m^2) + (0.114 m^2 \times 70 kg/m^2) = 43.1 kg$
사각형	0.360	0.114	$(0.360 m^2 \times 120 kg/m^2) + (0.114 m^2 \times 70 kg/m^2) = 51.2 kg$

표 4. 표지형태에 따른 지주하단의 모멘트

구분	설계풍하중(kg)		모멘트
	표지	지주	
삼각형	42.1	8	$(2.16 m \times 42.1 kg) + (0.95 m \times 8 kg) = 98.5 kg \cdot m$
역삼각형	42.1	8	$(2.42 m \times 42.1 kg) + (0.95 m \times 8 kg) = 109.5 kg \cdot m$
원형	35.2	8	$(2.2 m \times 35.2 kg) + (0.95 m \times 8 kg) = 85 kg \cdot m$
사각형	43.2	8	$(2.2 m \times 43.2 kg) + (0.95 m \times 8 kg) = 102.6 kg \cdot m$

실험을 통한 볼트의 인장강도는 3987 kg이고 볼트의 모멘트 팔 길이인 압축볼트와 인장볼트의 평면 상 수직거리 9 cm를 고려하면 358.8 kg·m의 휨 강도를 갖기 때문에 소형 표지판 지주가 받는 모멘트 85kg·m~109.5 kg·m를 충분히 지지할 수 있음을 알 수 있다.

이상으로부터 D12 mm에 내경 6 mm의 공간을 갖는 중공형 볼트를 직경 20 mm의 앵커 및 베이스플레이트 고정 볼트 사이에 나사 연결한 인덴티드 볼트 3개로 구성된 브레이크어웨이 단부 장치는 표지판 면적 0.293~0.360인 소형 표지판에 작용하는 풍하중을 충분히 지지할 수 있음을 알 수 있다.

3. 인덴티드 볼트의 파괴에너지

앞 장에서는 정적실험을 통해 소형 표지판 용 브레이크어웨이 단부장치의 풍하중에 대한 구조적 안전성을 입증하였다. 본 절에서는 단부장치의 설계 및 동적거동에 중요한 파괴에너지를 펜듈럼 실험과 LS-DYNA 프로그램(LSTC, 2001)을 이용한 시뮬레이션을 통하여 결정하고자 한다. 펜듈럼 실험은 지주의 브레이크어웨이 기능과 분리 후 지주의 거동을 동시에 알 수 있는 반면에 Charpy Test는 작은 부재의 파괴에너지를 간단히 파악하게 하는 실험으로 실험체의 크기가 매우 제한적이다. 본 연구에서는 Charpy 실험기로 파괴가 가능한 크기의 실험체에 대한 충격실험을 실시하고 같은 부재에 대하여 비선형 동적 프로그램인 LS-DYNA를 이용한 충격 시뮬레이션을 실시하여 시뮬레이션 모델의 정확도를 확인한 후 실제 크기의 부재에 대한 시뮬레이션을 실시하여 파괴에너지를 구하는 방법을 적용하였다.

3.1 펜듈럼 Test를 이용한 인덴티드 볼트의 파괴 에너지 산정

본 연구에서는 35 km/h의 충돌실험을 대신하여 펜듈럼 실험을 실시하였다. 펜듈럼 Test는 4개의 와이어에 매달린 900kg의 펜듈럼을 후방으로 당겨 펜듈럼의 진자운동을 통해 지주를 타격하는 방식으로 계측은 고속카메라를 이용하여 1000 frame/sec의 속도로 측정된 고속 촬영 데이터를 이용하여 펜듈럼 본체의 변위, 속도, 가속도를 구하였다. 펜듈럼의 무게중심은 지상으로부터 55 cm로 일반차량의 범퍼 높이로 조절하여 설치하였다. 이 실험은 높이 3 m에서 900 kg의 추를 낙하시킨 것으로 충돌 시 속도는 $\sqrt{2gh} = 7.7(m/sec)$ 이다. 실험 결과, 충돌 후 0.006초에 인덴티드 볼트의 파괴가 일어나고 파괴가 일어나는 시간까지의 지주의 총 변위는 4.2 cm이다. 인덴티드 볼트의 파괴 후 지주의 속도가 펜듈럼의 속도보다 빨라지게 되고 충돌 후 0.01초 뒤엔 지주와 펜듈럼이 완전히 분리된다. 그림 6은 지주의 시간대 별 거동을 보여주는데 지주가 펜듈럼 본체 보다 빠른 속도로 이동하는 것을 볼 수 있다.

펜듈럼의 변위와 속도 그리고 가속도의 시간이력은 고속카메라를 이용하여 얻을 수 있으며 충돌하중은 Newton의 제2법칙을 사용하여 고속카메라를 이용하여 얻은 펜듈럼의 가속도와 질량을 곱함으로써 구할 수 있다. 고속촬영을 통해 얻은 속도-시간이력은 그림 7과 같다.

지주에 대한 펜듈럼의 충돌현상은 인덴티드 볼트의 파괴

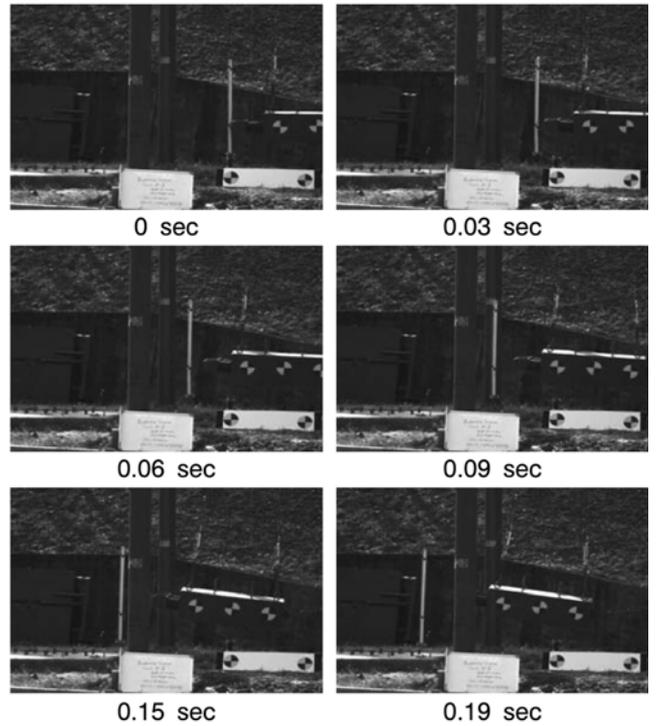


그림 6. 충돌 후 지주의 거동

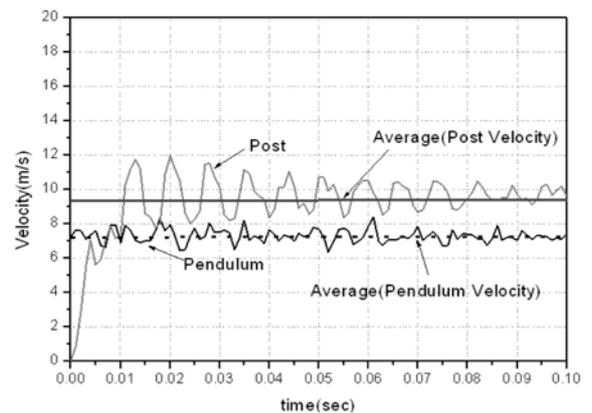


그림 7. Post 및 펜듈럼 속도-시간

단계와 지주와 펜듈럼의 분리 단계로 나눌 수 있다. 펜듈럼의 운동에너지는 $mv^2/2$ 을 사용하여 구할 수 있으며, 펜듈럼의 운동에너지의 변화는 인덴티드 볼트의 파괴와 지주의 운동에너지에 의하여 일어나게 된다. 따라서 충돌 전·후 펜듈럼과 지주의 운동에너지의 차이를 통해 인덴티드 볼트의 파괴 에너지를 구할 수 있으며 그 값은 표 5와 같다.

3.2 Charpy Test와 LS-DYNA 시뮬레이션을 이용한 인덴티드 볼트의 파괴 에너지 산정

Charpy Test는 충격 전·후의 해머의 위치에너지 차이를

표 5. 충돌 전·후의 에너지

충돌 전	충돌 후		
펜듈럼 운동에너지	펜듈럼 운동에너지	지주의 운동에너지	파괴에너지
33.26 KJ	32.45 KJ	321.4 J	490 J

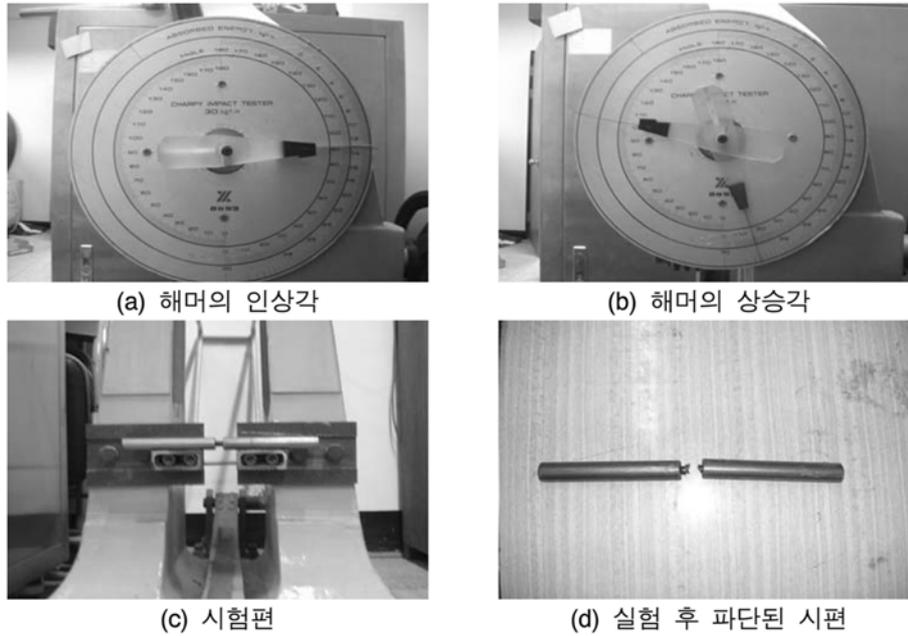


그림 8. Charpy 실험

이용하여 파괴에너지를 구할 수 있는 실험으로 해머의 무게와 팔 길이로 인해 한계가 명확한 실험이다. 사전 실험 결과 Charpy 실험기의 최대 충격에너지가 D12 mm볼트를 파괴시키지 못하여 실제 사용되는 D12 중공 볼트의 파괴에너지를 구할 수 없었다. 따라서 D10 mm볼트로 Charpy Test를 실시하고 D10 mm볼트의 충격 상황을 LS-DYNA 프로그램으로 모델하여 실험과 해석 값을 비교함으로써 시뮬레이션의 신뢰성을 확인한 후에 D12 mm볼트의 파괴 에너지를 시뮬레이션으로 구하였다. 파단 에너지는 해머의 상승각과 인상각의 차이로부터 다음과 같이 구한다.

$$E = W \cdot R(\cos\beta - \cos\alpha) \quad (5)$$

여기서 E = 에너지, W = 해머의 중량, R = 해머 중심부에서 회전 부까지의 거리, β = 시험편 파단 후 해머의 상승각, α = 해머의 인상각

D10 mm볼트의 실험결과 해머의 인상각 166°, 해머의 상승각 116°로 나타나 해머의 중량 22 kg, 해머중심부에서 회전 부까지의 거리 0.75 m를 고려하고 식 (5)를 이용하면 파괴에너지는 78.6J로 계산되었다. 실제 사용된 12 mm 볼트의 충격치를 알기 위하여 LS-DYNA 시뮬레이션을 실시하였는데 10 mm Size 볼트의 LS-DYNA 시뮬레이션 결과를 Charpy 테스트 결과와 비교한 후 Model의 유효성이 입증되면 D12 mm 볼트의 경우에도 LS-DYNA시뮬레이션을 통하여 파괴에너지를 구하는 방법이 유효하다고 보는 것이다. 시뮬레이션 모델은 그림 9와 같고 재료 물성치는 볼트의 인장실험값을 사용하였다. 볼트와 해머의 Material, Element, Contact, Boundary Condition에 대한 조건은 표 6에 요약 하였다.

그림 10은 D10 mm 인덴티드 볼트에 대한 시뮬레이션을 통한 볼트와 해머의 거동을 보여준다. 그림 11은 D10 볼트 충격에 대한 해머의 힘-변위 그래프를, 그림 12는 D12 볼트

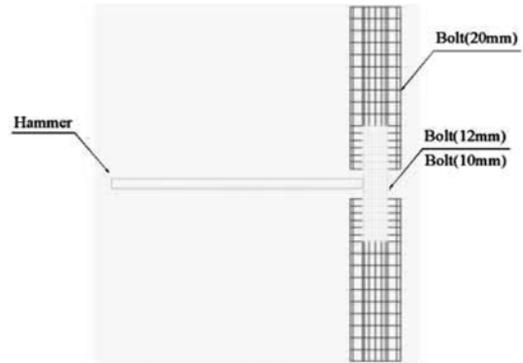


그림 9. Charpy 테스트 LS-DYNA 시뮬레이션 모델

충격에 대한 해머의 힘-변위 그래프를 각각 나타내며 그래프의 총면적은 각각 D10 mm와 D12 mm볼트의 파괴 에너지를 나타낸다.

D10 mm 볼트에 대한 시뮬레이션 결과로 나타난 파괴에너지는 그림 11 그래프의 면적으로부터 구할 수 있으며 그 값은 76J로 Charpy 테스트 결과치 78.6J 과 약 4%의 오차를 보이므로, 볼트의 모델링에는 문제가 없는 것으로 판단하여 D12 mm볼트의 분리파괴에너지를 시뮬레이션을 통해 구하기로 하였다. 그 결과는 그림 12에 보이는 힘-변위 그래프와 같으며 그래프의 면적을 구하면 D12 mm볼트의 파괴에너지를 구할 수 있고 그 값은 153J로 계산된다. 이 값은 펜듈럼 실험을 통한 3개의 D12 mm 볼트의 총 파괴 에너지가 490J 이고 볼트 한 개 당 파괴에너지가 163.3J이었음을 고려하면 두 가지 방법의 타당성을 확인할 수 있다.

4. 결 론

풍하중 43.1 kg~51.2 kg을 유발시키는 면적 0.293 m²~0.360m²의 소형표지판용 지주의 풍하중에 대한 지지력을 확보하면서

표 6. 시뮬레이션 상수

구분	Element수	Material		Property	Contact	Boundary Condition
Bolt (20mm)	784	Plastic Kinematic	Mass density - $7.83 \times 10^{-9} \text{ t/mm}^3$ Young's Modulus - $2.0 \times 105 \text{ Mpa}$ Poisson's Ratio - 0.3 Yield Stress - 235 Mpa Tangent Modulus - 600 Mpa	Solid	Automatic Surface to Surface	Spc
Bolt (10mm)	192					Initial Velocity
Hammer	1	Rigid	Mass density - $7.83 \times 10^{-9} \text{ t/mm}^3$ Young's Modulus - $2.0 \times 105 \text{ Mpa}$ Poisson's Ratio - 0.3			

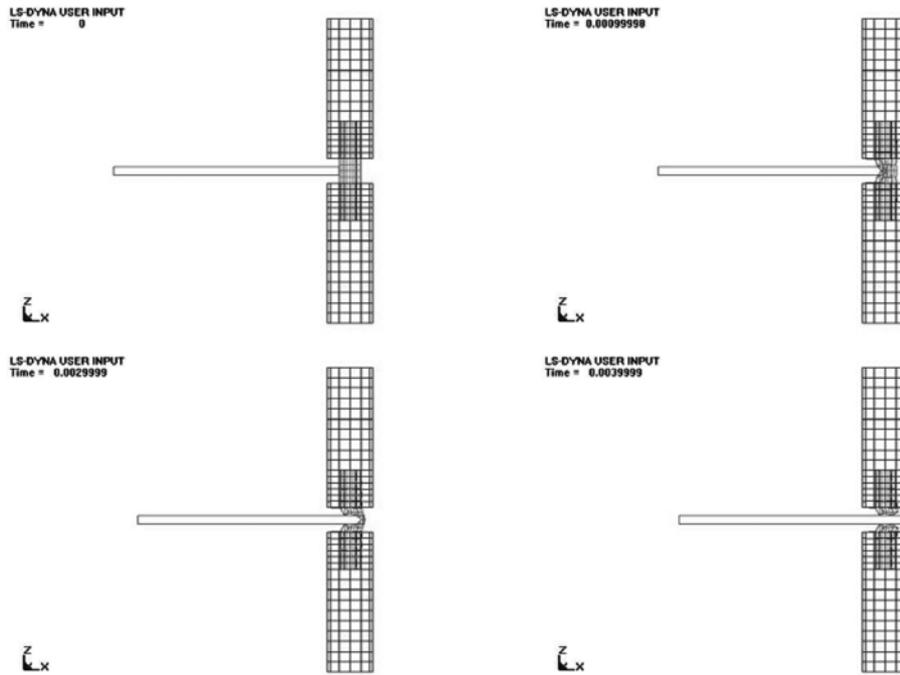


그림 10. 시간 별 해머와 볼트의 거동 (D10 mm Bolt LS-DYNA 시뮬레이션)

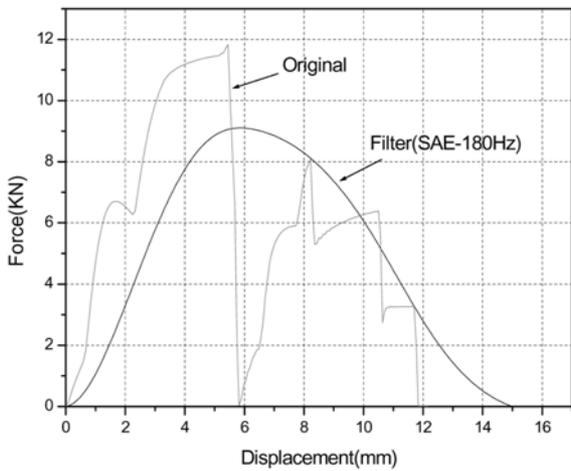


그림 11. 힘-변위 (D10 mm)

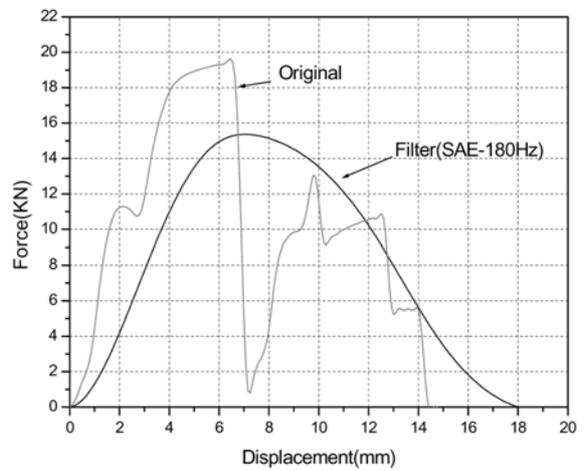


그림 12. 힘-변위 (D12 mm)

충돌 시 분리가 가능한 브레이크어웨이 단부장치를 개발하였다. 단부장치는 D12 mm에 내경 6 mm의 공간을 갖는 중공형 볼트를 직경 20 mm의 앵커 및 베이스플레이트 고정 볼트 사이에 연결한 인텐티드 볼트 3개로 구성된 것으로 풍하중에 대한 전단저항 및 모멘트에 대한 인장저항이 충분함을 전단 및 인장실험으로 입증하였다. 또한 펜듈럼 실험을 통하여 900 kg 중량의 7.7 m/sec 속도 충돌에 분리가 일어남을 확인하였고 1,000 frame/sec의 속도로 고속 촬영된 충돌사진 데이터를 분석하여 단부장치의 분리 파괴에너지가 490J 즉 인텐티드 볼트 1개당 163.3J임을 확인하였다. LS-DYNA 시뮬레이션으로 분리 파괴에너지를 구하였는데 인텐티드 볼트 1개 당 153J로 계산되어 시뮬레이션과 펜듈럼 실험의 유효성을 확인 하였다. 제안한 단부처리 장치를 이용하면 충돌 차량에 대한 위험도를 크게 줄일 수 있고 지주의 파손이 인텐티드 볼트 부위에 국한되므로 볼트 부위의 부분 교체로 지주를 다시 사용할 수 있는 장점이 있음을 펜듈럼 실험에서 추가로 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(06 교통핵심 C01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

건설교통부 (2003) 도로표지 제작·설치 및 관리지침.
 도로교통안전관리공단 (2005) 2005년판 교통사고 통계분석.
 AASHTO (1975) *Roadside Design Guide*.
 LSTC (2001) LS-DYNA Keyword User's Manual, Livermore Software Technology Corporation, Livermore, CA.

- ◎ 논문접수일 : 2008년 07월 24일
- ◎ 심사의뢰일 : 2008년 07월 28일
- ◎ 심사완료일 : 2008년 08월 05일