

구조용 강재에 대한 폭파절단실험 연구

양형식^{1)*}, 장형두²⁾, 고영훈³⁾, 김승준³⁾, 문희숙³⁾

An Experimental Study of Concussion Blasting for Structural Steel

Hyung-Sik Yang, Hyong-Doo Jang, Young-Hun Ko,

Sung-Jun Kim and Hee-Sook Moon

Abstract Concussion shots were conducted for SS400, a general structural steel, and SM490, a structural steel for welding, using TNT, which is used as a standard explosive. The ability to cut the steels was compared for different combinations of charges and materials. The results show that the amount of explosives used for SM490 requires more 30% than SS400.

Key words SS 400, SM 490, TNT, Concussion charge, Explosive cutting

초 록 일반구조용 압연강재인 SS400과 용접구조용 압연강재인 SM490에 대하여 폭발위력의 기준 약으로 사용되는 TNT를 이용한 불이기 폭파절단실험을 실시하였으며, TNT 약량에 따른 강재의 절단 및 강종별 절단 특성에 대하여 검토하였다. 그 결과로서 SM490 강재의 폭파저항성이 SS400 강재 보다 약량기준 약 30% 이상임을 확인할 수 있었다.

핵심어 SS 400, SM 490, TNT, 불이기 발파, 폭파절단

1. 서 론

구조물을 재료적 측면으로 구분하면 크게 콘크리트와 강구조로 구분할 수 있다. 콘크리트 구조물은 구조부재의 파괴를 유도하기 위하여 주로 구조물을 지탱하는 수직부재(기둥, 전단벽 등)의 단면 중심까지 천공하고, 각 공에 부재의 제원에 맞는 량의 장약을 장전하여 파괴시키는 방법을 적용한다. 콘크리트는 그 강도에 관계없이 이러한 방법으로 쉽게 파괴시킬 수 있으며, 주로 압축력에 저항하는 콘크리트의 특성상 한 부재 내에서 일정부분의 콘크리트의 파괴는 해당 부재의 전체적인 기능상실로 이어지므로 강구조물에

비하여 상대적으로 발파해체 기술의 적용이 용이한 편이다. 그러나 강구조에 쓰이는 강재는 단면의 수축율과 연신율이 큰 연성재료로서 폭약을 이용해도 부재의 파괴를 쉽게 유도할 수 없다. 이러한 기술적 난이도와 콘크리트 구조물에 비하여 내구성 및 유지보수성이 좋다는 점 때문에 국내외 적으로 콘크리트 구조물에 비하여 발파해체 적용사례가 상대적으로 적은 편이다. 이에 본 연구에서는 강구조물을 발파해체하기 위한 부재실험으로서 일반구조용 압연강재 SS400과 용접구조용 압연강재인 SM490A에 대하여 장약량에 따른 강종별 폭파절단 연구를 수행하였다.

2. 강재(SS400, SM490)의 특성

철도교 표준 시방서(한국철도청, 2004)에 의하면 강재의 종류는 재질에 따라 일반구조용 압연강재(KS D 3503), 용접구조용 압연강재(KS D 3515), 용접 구조용 내후성 열간 압연 강재(KS D 3529), 일반 구조용

¹⁾ 전남대학교 에너지자원공학과 교수

²⁾ 전남대학교 대학원 에너지자원공학과 박사과정

³⁾ 전남대학교 대학원 에너지자원공학과 석사과정

* 교신저자 : hsyang@jnu.ac.kr

접수일 : 2011년 6월 13일

심사 완료일 : 2011년 6월 24일

게재 승인일 : 2011년 6월 27일

경량 형강(KS D 3530) 등이 있으며, 강구조물에는 일반구조용 강재와 용접구조용 강재가 가장 많이 사용되고 있다. 본 실험에서는 일반구조용 압연강재인 SS400과 용접구조용 압연강재인 SM490A를 사용하여 실험을 실시하였다. 다음 표 1은 일반구조용 강재와 용접구조용 강재의 표시기호이다.

2.1 일반구조용 압연강재(KS D 3505, SS강재)

일반구조용 압연강재는 기계적 성질에 중점을 두고 제조한 반면 용접성은 특별히 고려하지 않은 강재이다. SS강재(SS400 등)의 경우 판 두께가 22mm 이하는 용접성이 특별히 문제가 되지 않으므로 용접구조에도 사용되나 한냉지 이거나 주요 부재인 경우에는 용접구조용 강재를 사용하는 것이 바람직하다.

2.2 용접구조용 압연강재(KS D 3515, SM강재)

용접성을 고려해서 성분을 조정하여 제조한 강재로 기계적 성질에 의해 5종류로 대별된다. 화학적 성분 및 인성에 대한 규정이 있으며 인성을 나타내는 값으

로 Charpy 충격시험(김암수, 2007)에 의해 흡수에너지를 규정하고 그 정도에 따라 A, B, C 종이 있다. 다음의 표 2 및 3은 강종별 화학성분 및 물성을 나타낸다. 강재는 탄소 함유량이 2% 정도로 극히 적어 유연하고 연성이 풍부하여 가공에 적합하다.

탄소의 함유량이 증가함에 따라 강도가 커지고 취성도 증가한다. 강(steel)은 탄소(C) 외에 인(P), 유황(S), 규소(Si), 망간(Mn) 등을 소량 함유하고 있으며, 이러한 화학성분들이 강의 성질에 미치는 영향은 다음과 같다.

강의 주요 성분 중 탄소(C)는 강의 기계적 성질에 가장 큰 영향을 주는 원소로써 탄소량 0.8% 이하에서 함유량에 거의 비례하여 강도를 증가시키나 연신율과 충격치는 감소되고 용접성도 저하된다. 또한 망간(Mn)은 강도를 증가시키는 원소이나 강도 상승에 비해 연성감소가 작기 때문에 용접성과 연성 개선을 위해 사용하며, 규소(Si)는 통상 탈산제로 사용되며, 강도를 높이는 대신 연신율, 충격치는 감소시킨다. 인(P)과 유황(S)은 강에 존재하는 불순원소, 탄소 등 기타 원소

표 1. 강재의 표시기호(한국철도청, 2004)

강 종	강재종류별 기호		비 고
	SI 단위 (N/mm ²)	중전단위 (kgf/mm ²)	
일반구조용 압연강재 - KS D3505 - JIS G3101	SS330 SS400 SS490 SS540	SS 33 SS 41 SS 50 SS 55	- SS : Steel for Structure - SM : Steel for Marine - SMA : Steel for Marine Atmospheric - 숫자 : 최저 인장강도를 표시 - X : Charpy 흡수에너지 (충격인성치에 따라 A,B,C로 구분) - Y : 항복강도를 향상시킨 강종
용접구조용 압연강재 - KS D3515 - JIS G3106	SM400X SM490X SM490YX SM520X SM570	SWS 41X SWS 50X SWS 50YX SWS 53X SWS 58X	

표 2. 강재의 화학성분(남해고속도로 확장공사 실시설계, 2007)

종류기호	화학성분(%)				
	C	Mn	P	S	Si
SS400	통상 0.21	-	0.050 이하	0.050 이하	-
SM490A	두께 50mm 이하	0.20이상	1.60 이하	0.035 이하	0.035 이하
	두께 50mm 이상 200 mm 이하	0.22이상			
SM490B	두께 50mm 이하	0.18이상	1.60 이하	0.035 이하	0.035 이하
	두께 50mm 이상 200 mm 이하	0.20이상			
SM490C	두께100 mm이하	0.18이상	1.60 이하	0.035 이하	0.035 이하

와 결합하여 편석을 형성하므로 강의 기계적 성질을 불균일하게 한다. 특히 S는 강의 인성, 연성을 저하시켜 취성파괴의 요인이 된다.

3. 실험방법

3.1 폭약

실험에서는 항상 일정한 위력의 지표를 나타내어 폭

발위력의 기준약으로 사용되는 TNT(Tri Nitro Toluene)를 사용하여 실험을 실시하였다. 다음 표 4는 실험에 사용된 TNT의 제원이며, 군용 TNT는 미국 상용단위계(US Customary System of Unit; USCS)로는 0.25, 0.5, 1.0lb의 세 규격으로 제작된다. 표 4에는 각 제조 규격에 상응하는 SI 단위의 중량과 폭속을 함께 표시하였다.

표 3. 구조용 강재의 항복점, 인장강도 및 연신률(한국철도청, 2004)

종류별 기호	항복점, N/mm ² (kgf/mm ²)						인장강도, N/mm ² (kgf/mm ²)		연 신 률			
	강재의 두께 (mm)									강재의 두께 (mm)	시험편	%
	16 이하	16 초과 40 이하	40 초과 75 이하	75 초과 100 이하	100 초과 160 이하	160 초과 200 이하	100 이하	100 초과 200 이하				
SS400	245 (25) 이상	235 (24) 이상	215(22)이상				400~510 (41~52)		5초과 16 이하	1A호	17 이상	
									16 초과 50 이하	1A호	21 이상	
SM490A	325 (33) 이상	315 (32) 이상	295 (30) 이상	295 (30) 이상	285 (29) 이상	275 (28) 이상	490~610 (50~62)		5초과 16 이하	1A호	17 이상	
									16 초과 50 이하	1A호	21 이상	

표 4. TNT의 제원(Standard US Demolition Charge)(US ARMY, 1992b)

Explosive	Weight in USCS (lb)	Weight in SI (kg)	Detonation velocity (m/s)
TNT	0.25	0.113	6900
	0.5	0.227	6900
	1.0	0.454	6900



(a) 실험 설치대



(b) 강재 및 TNT 설치 후

그림 1. H 형강 설치대 및 설치 사진.

3.2 실험 강재의 규격 및 설치대

실험강재의 규격은 1000×200×15mm의 규격으로 일반구조용 압연강재인 SS400 과 용접구조용 압연강재인 SM490A를 통해 TNT 약량에 따른 비교실험을 실시하였으며, 실험의 설치는 다음 그림 1과 같이 사전 제작한 설치대에 강재를 바인더로 고정시킨 후 강재의 중앙에 TNT를 장약하여 무전색 불이기 발파를 하였다.

3.3 장약량 산정

강재절단을 위한 장약량 공식은 미공병단 교범(US Army, 1992a)의 강재절단 공식을 사용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$K = \frac{A}{38} \quad (1)$$

위 식에서 K 는 TNT 장약량(kg), A 는 강관의 횡단면적(cm^2)을 나타낸다. 이 강재절단 공식을 적용하여 표준약량을 결정한 후 그 결과에 따라 약량을 줄여나가며 실험을 진행하였다.

4. 실험결과

4.1 SS400 강재의 실험결과

일반구조용 압연강재인 SS400에 대하여 무전색 불이기 발파실험을 하였으며, 그 결과는 다음 표 5 및 그림 2와 같다. 1000×200×15mm 규격의 SS400강재에 대해 TNT를 이용 불이기 발파를 실시한 결과 S5의 실험결과와 같이 270g의 약량에서 절단되지 않았으며, 그 이상의 약량에서는 절단됨을 확인하였다.



(a) Test No. S1



(b) Test No. S2



(c) Test No. S3



(d) Test No. S4



(e) Test No. S5

그림 2. SS400 강재의 실험결과 사진.

표 5. SS400 강재의 실험결과

SS400 폭과절단 실험			
NO.	약량(g)	전색	결과
S1	630	무전색	절단
S2	540	무전색	절단
S3	450	무전색	절단
S4	360	무전색	절단
S5	270	무전색	미절단

표 6. SM490 강재의 실험결과

SM490A 강재의 폭과절단 실험			
구분	약량(g)	전색	결과
M1	770	무전색	절단
M2	720	무전색	절단
M3	680	무전색	절단
M4	450	무전색	미절단
M5	540	무전색	절단
M6	490	무전색	절단



(a) Test No. M1



(b) Test No. M2



(c) Test No. M3



(d) Test No. M4



(e) Test No. M5



(f) Test No. M5

그림 3. SM490A 강재의 실험결과 사진.

4.2 SM490A 강재의 실험결과

용접구조용 압연강재인 SM490A에 대하여 무전색 붙이기 발파실험을 하였으며, 그 결과는 다음 표 6 및 그림 3과 같다. SS400과 동일한 1000×200×15mm 규격의 SM490A 강재에 대해 TNT를 이용 붙이기 발파를 실시한 결과 M4의 결과와 같이 450g의 약량에서 절단되지 않았으며, 그 이상의 약량에서는 절단됨을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 강구조물을 발파해체하기 위한 부재 실험으로서, 일반구조용 압연강재 SS400과 용접구조용 압연강재인 SM490A에 대하여 장약량에 따른 각종별 폭발절단에 대해 연구를 수행하였으며 실험을 통한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 강재절단공식인 $K=A/38$ (US Army, 1992a)는 일반구조용 압연강재인 SS400에 대해서 설계약량 대비 50% 수준에서 절단되었고, 용접구조용 압연강재인 SM490A에 대해 설계약량 대비 65% 수준에서 절단됨으로서 사용공식에 대한 신뢰성을 확인할 수 있었다.
- 2) 표 5에서의 Test No. S4 와 표 6에서의 Test No. M6 와 같이 SS400 및 SM490A에 대해 각각 TNT

360, 490g의 최소절단 약량을 확인할 수 있었다.

- 3) 표 2와 표 3을 검토하였을 때 SS400과 SM490A는 각 강재의 연신율 또한 동일하며, 또한 강의 기계적 성질에 가장 큰 영향을 주는 원소인 C의 함량도 큰 차이를 나타내지 않는다. 결정적으로 강재를 파괴에 이르게 하는 요인은 각 강재의 인장강도의 차이 및 강에 함유되어 강의 인성, 연성을 저하시켜 취성파괴의 요인이 되는 P와 S의 함량 차이로 사료된다.
- 4) SS 400 강재와 SM 490A 강재에 대하여 동일조건하에 실험을 실시함에 따라 강재의 인장강도 및 함유성분에 따른 기계적 성질의 차이로 인해 SM490A 강재가 SS400 강재에 비해 약량대비 약 30% 이상의 폭발저항성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. 김암수, 2007, 재료공학, pp. 324-326.
2. 남해고속도로 확장공사 실시설계(ST.BOX GIRDER의 재료강도 적용성 검토), 2007, pp. 2-5.
3. 한국철도청, 2004, 철도교 표준 시방서, p. 50.
4. US ARMY, 1992a, FM 5-250 Explosives And Demolitions Manual, p. B-2.
5. US ARMY, 1992b, TM 43-0001-38 Technical manual ARMY Ammunition data sheets for Demolition Materials, pp. 4-15.



양 형 식
전남대학교
에너지자원공학과 교수
Tel: 062-530-1724
E-mail: hsyang@chonnam.ac.kr



장 형 두
전남대학교 대학원
에너지자원공학과 박사과정
Tel: 062-530-0824
E-mail: albatrossking@hotmail.com



고 영 훈
전남대학교 대학원
에너지자원공학과 석사과정
Tel: 062-530-0824
E-mail: dddd8401@nate.com



김 승 준
전남대학교 대학원
에너지자원공학과 석사과정
Tel: 062-530-0824
E-mail: jangdog99@naver.com



문 희 숙
전남대학교 대학원
에너지자원공학과 석사과정
Tel: 062-530-0824
E-mail: dripiest@nate.com