

BB Pellet 재질에 따른 안구 손상 위험성에 관한 실험적 연구

김형석 · 박달재^{*}

서울과학기술대학교 산업대학원 안전공학과 · *서울과학기술대학교 안전공학과
(2011. 11. 10. 접수 / 2012. 3. 21. 채택)

Experimental Studies on Eye Injury Risks by Different BB Pellet Materials

Hyung-Suk Kim and Dal-Jae Park^{*}

Department of Safety Engineering, Graduate School of Industry,
Seoul National University of Science and Technology

^{*}Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(Received November 10, 2011 / Accepted March 3, 2012)

Abstract : Experimental studies were performed to investigate the eye injury risks by different BB pellet materials. Four different BB pellet materials were used: plastic (P), silicon (S), rubber (R) and plastic covered with silicon (SR). The BB pellet images penetrating into the gelatine simulant were recorded by a high-speed video camera. The results obtained from the different pellet materials were discussed in terms of impact velocity and penetration depth; threshold velocity and projectile sectional density; eye injury risks by normalized energies. It was found that the P pellets caused higher impact velocity while the lower was SR pellets. The penetration depth and threshold velocity of the pellets were dependent on the impact velocity of the pellets, and the P pellets resulted in the higher eye injury risk while the lower was SP.

Key Words : BB pellet materials, impact velocity, penetration depth, threshold velocity, eye injury risk

1. 서론

국내·외 완구 놀이용품은 날로 다양화·첨단화 되고 있다. 그러나 이러한 용품으로 인한 연간 사고 발생건수는 꾸준히 증가 추세이고, 사고 중 어린이 (만 7세~14세) 계층에서 발생된 사고는 절반 이상을 차지하고 있으며 어린이 용품 중 비비탄총에 의한 사고가 제일 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 보고되고 있다^{1,2)}. 2005년부터 2009년까지 비비탄총 관련 사고유형을 분석하여 보면, 흡입·섭취에 의한 사고가 57% (150건)으로 가장 높았으며, 총돌·충격은 42% (110건), 찔림 0.5% (1건), 미상 0.5% (2건)로 나타났으며, 상해 부위는 눈, 코, 귀, 얼굴 등 사람의 머리에 집중하였으며, 눈에 대한 상해가 약 40%로 다른 부위보다 가장 높게 나타났다^{1,3)}. 이는 일부 문헌^{1,4,7)}에서 보고된 바와 같이 안구의 외상성 전방출혈, 실명 등과 같은 심각한 상해를 야기시킬 가능성이 크다.

이러한 사고를 저감하기 위하여 정부에서는 안전 검사 기준을 강화하는 것과 같은 몇 차례 법률을 개정하여 운용하고 있음에도 불구하고 관련 사고는 줄지 않고 있는 실정이다.

현재 어린이용 비비탄총에서 발사되는 플라스틱 탄환은 비산 속도가 크고 총알 자체가 견고하며, 어린이의 심리특성상 기성 비비탄총을 좀 더 강력한 힘을 발휘하는 총으로 개조(스프링 교체)하여 사용하려는 경향이 매우 높기 때문에 어린이가 근거리에서 이 탄환에 맞았을 때에는 심각한 안구 손상이나 피부 손상을 가져올 수 있다. 따라서 어린이들이 즐겨 이용하는 비비탄총의 안전성을 향상시킬 필요가 있다. 즉, 어린이가 비비탄총의 탄환에 맞아도 그 상해를 극소화 할 수 있는 어린이 전용 비비탄총의 총알 개발이 필요하다.

이에 본 연구에서는 비비탄총의 안전성 향상을 위해 현 비비탄총의 탄환 재질을 연질의 재료로 바꾸어 개량된 탄환이 얼마나 안전한지를 파악하기 위하여 실험을 수행하였다. 타격대상체 재질은 인체로 직접 실험할 수 없기 때문에 젤라틴simulant를 사

^{*} To whom correspondence should be addressed.
pj70@seoultech.ac.kr

용하였고, 실험을 통하여 탄환의 침투깊이와 충격속도와의 관계, 한계속도와 탄환의 단면 밀도와의 관계를 살펴보고, 현행 탄환과 개량된 탄환의 normalized 에너지를 계산하여 안구 상해 확률을 문헌⁸⁾에서 보고한 결과를 이용하여 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 구성

비비탄총의 현행 탄환과 안전성 향상을 위해 재질을 개량한 탄환이 어느 정도 안전한지를 알아보기 위해 Fig. 1과 같이 비비탄총 발사체, 젤라틴simulant, 고속카메라(Phantom, V640) 등으로 실험장치를 구성하였고, 이는 기존 문헌¹⁾에서 사용된 실험장치 구성과 동일하다. 본 실험에서는 어린이용 비비탄 권총(Carl walther, 운동에너지 0.08 J)을 사용하였으며, 발사체 운동에너지는 탄속측정기(제품명: Prochron)를 이용하여 탄환속도를 측정한 후 $1/2 mv^2$ (m: 탄환질량, v: 탄환속도)로 산정하였다. 어린이용 비비탄총의 현행 탄환과 개량된 탄환이 어느 정도 인체의 피부에 상해를 줄 수 있는지를 조사하기 위해 젤라틴 simulant를 타격 대상체로 사용하였다. 비비탄총의 탄환이 젤라틴 simulant 표면에 도달 직전의 충격속도와 젤라틴 simulant 표면에서부터 최대 침투깊이에 도달하는 탄환의 한계속도를 측정하기 위해서 고속카메라(Phantom, V640)를 이용하여 1/2000 frame 속도로 촬영하였다.

Table 1은 현행 어린이 비비탄총에 사용되는 탄환과 본 연구에서 안전성 향상을 위해 개량한 탄환의 주요 특성을 나타낸 것이다. 본 실험에 사용된 탄환 재질은 4가지이며, 플라스틱(P) 탄환은 HIPS (High Impact Polystyrene: 로그웰 경도 M50) 재질로 현재 시중에서 판매되어 사용되는 것이며, 의료용

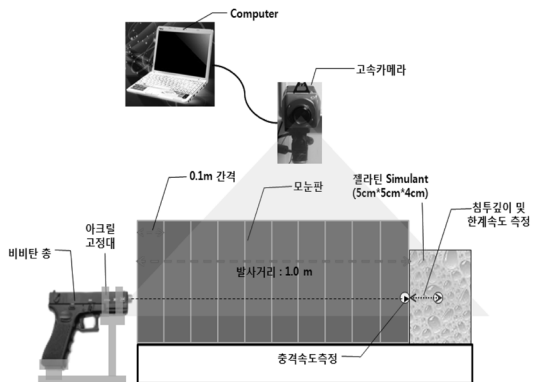


Fig. 1. Schematic of the experimental set-up).

Table 1. Different BB pellets used in the tests

기호	탄환 재질	지름 (mm)	단면적 (cm ²)	무게 (g)	K
P	플라스틱(HIPS)	6	0.283	0.114	0.403
S	의료용 실리콘	6	0.283	0.122	0.431
R	고무(EPDM)	6	0.283	0.126	0.445
SP	실리콘 피복 플라스틱	6	0.283	0.119	0.421

K: 탄환의 단면밀도(= 탄환무게/탄환의 단면적, g/cm²)

실리콘(S: 경도 Shore A 50)과 EPDM (Ethylene Propylene Diene Monomer: 경도 Shore A 65) 재질의 고무(R)는 플라스틱 재질의 탄환을 대체하기 위해 적용된 탄환이고, 2 mm 지름의 의료용 실리콘(경도 Shore A 50)을 4 mm의 지름을 가지는 HIPS(로그웰 경도 M50) 재질의 플라스틱에 피복한 탄환(SP)은 본 연구에서 개발한 총알이다. 실험에 사용된 모든 탄환은 직경 = 6 mm, 단면적 = 0.283 cm²이고, EPDM 재질인 고무(R) 탄환의 무게는 0.126 g으로 가장 무겁고, HIPS 재질인 플라스틱 탄환은 0.114 g으로 가장 가벼웠다. 탄환의 단면밀도(K= 탄환무게/탄환 단면적)를 비교하면, 고무인 경우, K = 0.445 g/cm²으로 가장 크고, 플라스틱은 K = 0.403 g/cm²으로 가장 작은 것으로 나타났다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 충격속도 및 침투깊이

Fig. 2는 비비탄총의 플라스틱 탄환이 젤라틴 simulant에 침투되어 정지될 때까지의 침투깊이 및 한계속도를 측정하기 위해 고속카메라로 촬영한 영상의 예를 나타낸다. Fig. 3은 발사체 운동에너지 0.08 J, 타격거리 1 m에서 실험에 사용된 4 종류의 서로 다른 재질의 탄환이 젤라틴 simulant 표면에 도달하기 직전에 측정된 충격속도와 표면에 침투된 탄환의 최대 침투깊이의 관계를 나타낸 것이다. 실험은 탄환 종류별로 5회 반복하여 그 결과를 평

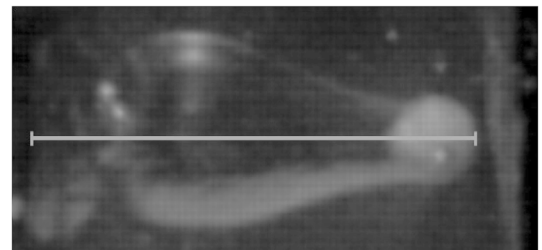


Fig. 2. An image of plastic pellet penetrated into the gelatine simulant.

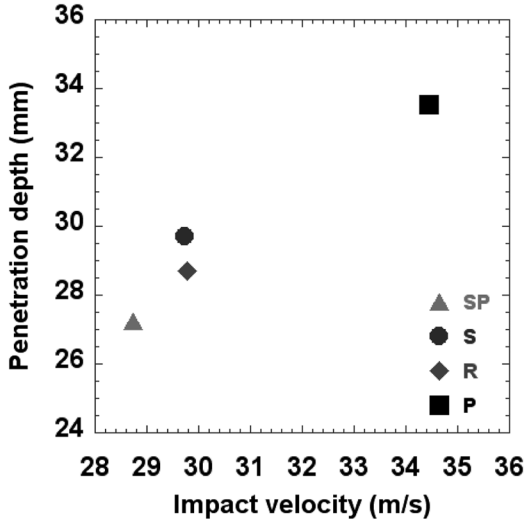


Fig. 3. Relationships of impact velocity and penetration depth for the different BB pellet materials.

균하였다. 실험결과, 플라스틱(P) 탄환의 충격속도는 34.45 m/s로 가장 높고, 실리콘 피복 플라스틱(SP) 탄환은 28.73 m/s로 가장 낮았으며, P 탄환이 SP 탄환보다 약 16.46%로 높은 것으로 나타났다. 젤라틴 simulant에 침투된 탄환의 침투깊이는 P 탄환이 33.55 mm로 가장 높고, SP는 27.25 mm로 가장 낮았으며, P 탄환이 SP 보다 약 18.78 % 높은 것으로 나타났다. 그러나 실리콘(S)과 고무(R) 탄환에서의 충격속도 및 침투깊이는 거의 유사하였다. 이는 Table 1에 나타낸 바와 같이, 탄환의 단면밀도(K)가 각각 0.431(S), 0.455(R)로 유사하기 때문인 것으로 판단된다.

3.2. 탄환단면밀도 및 한계속도

Fig. 4는 실험에 사용된 4 종류의 서로 다른 재질의 탄환이 젤라틴 simulant에 침투된 최대 침투 깊이까지 걸린 시간을 고려한 한계속도와 각 탄환 단면밀도($K = \text{탄환무게} / \text{탄환 단면적}$)의 관계를 나타낸 것이다. 실험결과, 탄환단면밀도(K)가 0.403 g/cm²로 가장 낮은 플라스틱(P) 탄환의 한계속도는 12.23 m/s로 가장 높게 나타났다. 이는 Jussila⁹⁾이 보고한 내용 중 탄환의 단면밀도는 젤라틴 simulant에 침투된 총알의 한계속도와 반비례하는 경향과 일치한다. 그러나 P 탄환보다 높고 실리콘(S)이나 고무(R) 탄환보다 작은 K를 가지는 실리콘 피복 플라스틱(SP) 탄환의 한계속도는 8.70 m/s로 가장 작게 나타났다. 이러한 원인은 SP 탄환의 충격속도가 S 또는 R 탄환의 충격속도보다 작기 때문이다.

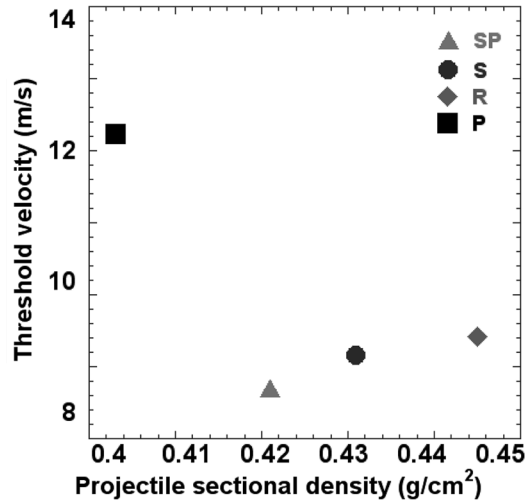


Fig. 4. Threshold velocity versus projectile sectional density for the different BB pellet materials.

P 탄환과 SP 탄환의 한계속도 차이는 3.53 m/s로 P 탄환이 SP 탄환보다 약 28.86% 빠른 것으로 보였고, S 탄환과 R 탄환의 한계속도는 거의 유사한 것으로 나타났다. 플라스틱 탄환은 한계속도가 높기 때문에 다른 재질의 탄환보다 피부에 가장 큰 충격을 입을 것이라고 판단되며, 한계속도가 가장 낮은 실리콘 피복 플라스틱 탄환은 가장 피부에 충격을 덜 입을 것으로 판단된다.

3.3. Normalized 에너지 및 안구 상해 위험성

어린이 비비탄총의 현행 탄환과 본 실험에서 안

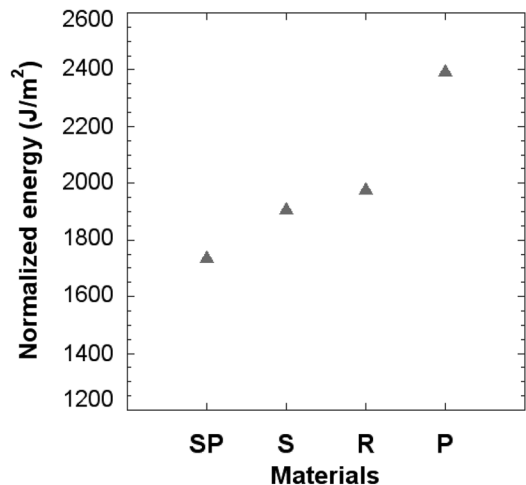


Fig. 5. Normalized energies estimated from the different BB pellet materials.

전성 향상을 위해 개량된 탄환이 사람의 안구에 어느 정도 손상을 줄 수 있는지를 직접 실험할 수 없기 때문에 실험에서 얻은 탄환의 kinetic 에너지($=1/2 mv^2, J$)를 normalized 에너지($=mv^2/2 \pi r^2$)로 환산한 후, 이를 Eric 등⁸⁾의 연구결과와 연관시켜 안구상해 위험확률을 추정하였다. 여기서, m 은 탄환무게(kg), v 는 충격속도(m/s), πr^2 는 탄환 단면적(m^2)이다. 4가지 탄환 재질에 따른 normalized 에너지 계산 결과를 나타내면, Fig. 5와 같다. 계산 결과, P 탄환의 normalized 에너지는 약 2,399 J/m^2 로 가장 높았으며, SP 탄환은 약 1,741 J/m^2 로 가장 작았다. P 탄환과 SP 탄환의 normalized 에너지 차이는 약 658 J/m^2 로 P 탄환이 SP 보다 27.9 % 높은 것으로 나타났으며, S 탄환과 R 탄환은 거의 유사한 것으로 보였다.

Fig. 6은 Eric 등⁸⁾이 보고한 normalized 에너지에 따른 안구 손상 위험확률 curve에서 normalized 에너지 2,400 J/m^2 이하 부분만 발췌하여 안구손상 중 각막 찰과상 및 전방출혈 중심으로 재구성하여 나타낸 것이다. Table 2는 본 실험에 사용된 4가지 탄환 재질로부터 산정된 normalized 에너지에 따른 안구 손상 위험확률을 Fig. 6을 이용하여 추정한 결과를 나타낸 것이다. 안구손상 중 안구 각막 찰과상 발생확률은 플라스틱 탄환에서는 약 97%로 가장 높았으며, 실리콘 피복 플라스틱 탄환은 약 52%로 가장 낮았다. 전방출혈 발생 확률은 실험에 사용된 탄환 재질에 관계없이 약 8%로 거의 유사하였다. 본 실험조건에서 얻은 데이터로 계산된 최대 normalized 에너지는 약 2,399 J/m^2 로 Eric 등⁸⁾의 연

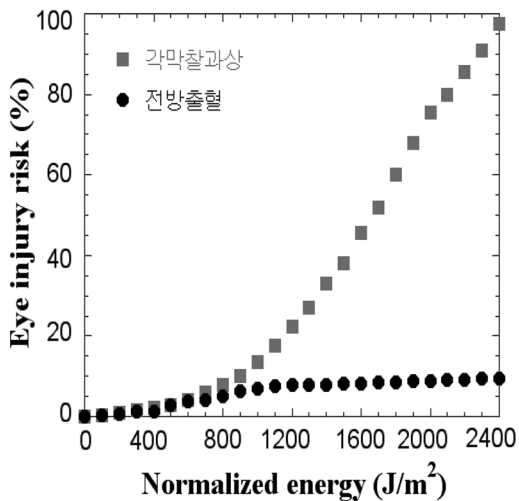


Fig. 6. Eye injury probability (%) by the normalized energies⁸⁾.

Table 2. Eye injury probability (%) by the estimated normalized energies for the different BB pellet materials.

탄환 재질	SP	S	R	P	
Normalized Energy (J/m^2)	1,741	1,913	1,982	2,399	
안구 손상 위험률 (%)	각막 찰과상	약 52 %	약 68 %	약 75 %	약 97 %
	전방 출혈	약 8 %	약 8.2 %	약 8.3 %	약 8.8 %

구결과와 비교하였을 때 안구 손상 형태 중 수정체 탈구, 망막 분리 및 망막 파열은 발생하기 힘들 것으로 판단된다.

4. 결론

어린이 비비탄총의 안전성 향상을 위해 탄환재질을 플라스틱(P), 의료용 실리콘(S), 고무(R), 실리콘 피복 플라스틱(SR) 4 종류로 하여 탄환의 침투깊이와 충격속도, 한계속도와 탄환단면밀도의 관계를 살펴보고, 현행 탄환과 개량된 탄환의 normalized 에너지를 계산하여 안구상해 확률을 문헌에서 보고한 결과를 이용하여 고찰하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 현재 사용되고 있는 플라스틱(P) 탄환의 충격속도는 34.45 m/s로 가장 높았으며, 본 연구에서 개발한 실리콘 피복 플라스틱(SP)은 28.73 m/s로 가장 낮게 나타났다. 침투깊이는 P 탄환이 33.55 mm로 가장 높고, SP는 27.25 mm로 가장 낮았다. 실리콘(S)과 고무(R) 탄환에서는 충격속도 및 침투깊이는 거의 유사하였다. 젤라틴 simulant에 대한 충격속도와 침투깊이 변화는 동일한 패턴을 가지는 것으로 나타났다.

2) 탄환단면밀도(K)가 0.403 g/cm^2 로 가장 낮은 플라스틱(P) 탄환의 한계속도는 12.23 m/s로 가장 높게 나타났으며, P 탄환 보다 높고 S 탄환이나 R 탄환보다 작은 K를 가지는 SP 탄환의 한계속도는 8.70 m/s로 가장 작게 나타났다. 이는 SP 탄환의 충격속도가 S 또는 R 탄환의 충격속도보다 작기 때문인 것으로 판단된다. P 탄환은 한계속도가 높기 때문에 다른 재질의 탄환보다 피부에 가장 큰 충격을 입을 것이라고 판단되며, 한계속도가 가장 낮은 SP 탄환은 가장 피부에 충격을 덜 입힐 것으로 판단된다.

3) 4가지 탄환 재질로부터 얻은 운동에너지를

normalized 에너지로 환산 한 후 문헌⁸⁾에서 보고된 normalized 에너지에 따른 안구 손상 위험확률과 연관시켜 안구 손상 위험확률을 추정하였다. 추정결과, P 탄환으로 인한 각막 찰과상 발생확률은 약 97 %로 다른 재질의 탄환보다 위험성이 가장 높았으며, SP 탄환은 약 52%로 위험성이 가장 낮았다.

본 연구를 통하여 현행 플라스틱 탄환이 개량된 실리콘 피복 플라스틱 탄환 보다 안구의 각막 찰과상 발생확률 측면에서 약 1.87배 더 위험한 것으로 파악되었다.

감사의 글 : 본 연구는 지식경제부 제품안전 기술기반 조성사업기반 기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 1) 박달재, 김형석, 이영순, “젤라틴 Simulant를 이용한 비비탄총 탄환의 위험성에 관한 실험적 연구”, 한국안전학회지, 제26권, 제3호, pp. 29~33, 2011.
- 2) 한국완구공업협동조합, 월간완구, 한국완구공업협동조합, 2007.
- 3) 한국소비자보호원, 위해정보 통계자료, <http://www.ciss.or.kr>, 2010.
- 4) S. Endo, N. Ishida, and T. Yamaguchi, “Tear in the trabecular meshwork caused by an airsoft gun”, American Journal of Ophthalmology, Vol. 131, pp. 656-657, 2001.
- 5) A. Kratz, J. Levy, D. Cheles, Z. Ashkenazy, E. Tsumi, and T. Lifshitz, “Airsoft gun - related ocular injuries: novel findings, ballistics investigation, and histopathologic study”, American Journal of Ophthalmology, Vol. 149, pp. 37~44, 2010.
- 6) J.P. Saunte and M.E. Saunte, “33 cases of airsoft gun pellet ocular injuries in Copenhagen, Denmark, 1998-2002”, Acta Ophthalmologica Scandinavica, Vol. 84, pp. 755~758, 2006.
- 7) C. Ramstead, M. Ng and C.J. Rudnisky, “Ocular injuries associated with airsoft guns: a case series”, Canadian Journal of Ophthalmology, Vol. 43, pp. 584~587, 2008.
- 8) K. Eric, E. T.P. Ng, C. McNally, J.D. Stitzel and Duma SM., “Risk functions for human and porcine eye rupture based on projectile characteristics of blunt objects”, Stapp Car Crash Journal, Vol. 50, pp. 651~671, 2006.
- 9) J. Jussila, “Preparing ballistic gelatine-review and proposal for a standard method”, Forensic Science International, Vol. 141, pp. 91~98, 2004.