

# 밀폐 및 분리 성능을 고려한 발사관 덮개의 개발

김형근\*, 도영대, 윤영주, 정 발(국방과학연구소), 류지윤(한국화이바)

## 요 약

발사관의 밀폐 및 분리성능을 위해 앞, 뒤 덮개의 재질을 내열성이 높고, 수분흡수성이 낮은 Noryl Plastic 재질로 선정하여 기계적 물성을 확인하였으며 덮개의 형상설계를 하였다. 유한요소 구조해석을 수행하여 분포하중 및 집중하중에 의한 응력상태를 고찰하고 분리성능을 검증하기 위해 공압 및 유도탄 충돌시험을 수행하였다. 이상의 과정을 통하여 개발된 덮개는 여러 가지 체계요구조건을 만족시켜 주는 것을 알 수 있다.

## 1. 서 론

발사관의 양 끝단에 장착되어 있는 앞덮개와 뒷덮개는 그림 1과 같이 발사관과 더불어 먼지, 비, 눈 등과 같은 외부의 환경요인으로부터 발사관 내에 저장되어 있는 유도탄을 보호할 뿐아니라 유도탄의 부식, 수분의 침투 및 외부 불순물 유입을 방지하기 위해 발사관을 전체적으로 밀폐하여야 한다.

본 연구에 적용한 발사관 덮개와 유사한 형태를 채택하고 있는 외국의 대공 무기체계로는 CROTALE과 ADATS등이 있다. 이들 무기체계에 적용하고 있는 앞덮개의 특징을 살펴보면 다음과 같다. CROTALE 발사관에 사용하고 있는 앞덮개는 플라스틱으로 되어 있으며 형상은 cap모양이다. 이는 발사관에 접착체결되어 있으며 유도탄의 발사시 내부에 형성된 압력에 의해 분리되는 방식을 채택하고 있다. ADATS 발사관에 사용하고 있는 앞덮개는 glass/epoxy 복합재료로 만들어져 있으며 원판 형상이다. 이는 발사관에 볼트로 체결되어 있으며 유도탄과의 충돌에 의해 분리된다.

일반적으로 앞덮개는 발사관에서 이탈되는 유도탄의 성능에 직접적인 영향을 미치게 되므로 다음 사항들이 설계시 고려되어야 한다. 첫째, 발사관 내의 기밀성능을 유

지하여야 하며 유도탄의 추진가스에 의해 발사관에 형성된 압력이 화염역류를 일으키지 않는 상태에서 분리되도록 한다. 둘째, 인접 발사관에 장착되어 있는 앞덮개는 유도탄의 이탈시 발생하는 추진가스의 화염에 의한 열 및 압력으로부터 인접발사관 내에 저장되어 있는 유도탄을 보호할 수 있는 충분한 외압지지능력을 갖도록 한다. 셋째, 유도탄이 앞덮개와 충돌되는 경우에는 유도탄에 미치는 영향을 최소화하도록 한다. 넷째, 유도탄의 점검과 보수를 위해 앞덮개의 탈장착을 용이하도록 한다.

발사관 내에서 형성되는 내압과 유도탄의 추진기관에서 분출되는 추진가스에 의한 외압은 수차례에 걸친 비행시험을 통해 측정된 자료에 의하면 큰 차이가 있다. 즉, 유도탄의 점화시 발생하는 화염과 추진가스가 발사관 전방부로의 역류가 최소로 되도록 뒷덮개를 설계하였을 경우 발사관 전방부에 형성되는 내압은 25psi 정도이며 유도탄이 발사관을 이탈한 후 추진가스가 인접발사관에 미치는 외압은 추진가스의 중심부에서 반경방향으로의 거리가 증가함에 따라 급격히 감소하지만 최대 60psi 정도이다. 따라서 내압분리방식의 앞덮개는 내압측면을 고려하여 설계하면 외압지지 능력이 떨어져 발사관을 이탈한 후 유도탄의 추진기관에서 분출되는 추진가스에 의한 외압을 지지할

수 없으며 외압측면을 고려하여 설계하면 내압지지능력이 너무 커져서 발사관 내에서 형성되는 내압에 의해 앞덮개가 쉽게 분리되지 않는 문제가 발생한다. 또한 앞덮개가 발사관에서 분리된 경우에 앞덮개의 테두리 부위가 깨끗하지 않으면 테두리부위에 남아 있는 잔류물이 탄지지대의 진행에 방해를 주거나 유도탄의 날개부위에 악영향을 줄 우려가 있다. 따라서 발사관에 적용된 앞덮개는 이와 같은 하중조건외 양면성과 앞덮개의 분리상태를 고려하여 설계되어야 한다.

본 연구의 목적은 여러 가지 설계요구조건을 만족시킬 수 있는 덮개의 형상을 제시하고 유한요소 구조해석, 공압시험 및 탄충돌에 의한 분리시험을 수행하여, 얻어진 결과를 종합적으로 검토하고 무기체계에의 적합성을 검증하는 것이다. 이를 위해 밀폐 및 분리성능을 위한 덮개의 형상을 고찰하고 유한요소 구조해석을 수행하여, 제시된 앞덮개에 대한 설계타당성을 입증하였다. 아울러 공압시험장치를 이용해 분포하중에서의 덮개의 파괴압력을 측정하고 공압시험장치와 비디오 카메라로 덮개의 분리양상을 관찰하였으며, 탄충격에 의한 분리시험을 수행하여 집중하중에서의 앞덮개의 분리하중 및 분리과정을 관찰하고 결과를 제시하였다.

## 2. 재료 물성시험

Noryl 수지에 carbon 단섬유가 8% 함유되어 있는 재료를 사출성형하여 시편을 채취하고 기계적 물성을 시험하였다. 표 1에는 사출성형으로 제작, 가공한 수지시편을 이용하여 측정한 기계적 물성들이 나타나 있다. 인장강성과 인장강도 그리고 Poisson 비는 ASTM D638 인장시험방법[1]에, 굽힘강성과 굽힘강도는 ASTM D790 굴곡시험방법[2]에 근거하여 지점거리(support span)를 100mm로 시험하였으며 전단강성과 전단강도는 Iosipescu 전단시편 [3]을 이용하여 시험하여 응력-변형률 관계를 측정하였고 Izod 충격시험으로부터 충격강도를 측정

하였다. 인장, 굴곡 및 전단시험에서 cross-head speed는 1.27mm/min로 유지하였다.

## 3. 덮개의 형상

덮개에 영향을 주는 하중조건외 양면성, 앞덮개의 분리상태, 유도탄과의 충돌시 유도탄에 미치는 영향의 최소화, 유도탄의 점검을 위한 덮개의 탈장착 기능 등 여러 가지의 설계요구조건을 고려하여 덮개의 형상을 설계하였다. 유도탄의 발사시 쉽게 분리되도록 그림 2와 같이 앞덮개의 테두리를 따라 안쪽 면에 45°각도의 V자홈이 있고 또한 분리된 앞덮개가 유도탄 비행경로에서 충분히 벗어나고 유도탄이 분리된 앞덮개와 접촉을 하는 경우에 유도탄에 미치는 영향을 최소화하기 위해 바깥쪽 면에 직선형 45°각도의 V자홈이 형성되어 있다.

외면에 일(1)자형 및 십(+)자형 노치가 있는 두가지 형상의 덮개를 설계하였다. 십자형 덮개의 테두리 홈은 깊이가 일정하여 분리시 사방으로 퍼져나가게 되며 유도탄의 후폭풍에 의해 레이다 등에 충돌할 우려가 있다. 한편 MLRS 발사관의 덮개는 분리시 아래쪽으로 떨어져 나가도록 그림 3과 같이 상부 테두리 홈중 60° 가량을 깊게 제작하여, 상부에서 먼저 파괴가 일어나기 시작하도록 설계되어 있다. 그러나 본 연구에 적용한 일자형 덮개는 MLRS의 예와는 달리 홈의 깊이가 갑자기 달라지는 응력집중부위가 존재하지 않도록 taper를 가진 형상으로 설계하였다. 뒷덮개는 내부에 일정한 깊이의 테두리 홈이 존재한다.

덮개에는 발사관의 플랜지에 조립하기 위한 볼트 체결용 구멍이 테두리 부위에 형성되어 있으며 이 부위의 두께는 13mm이다. 덮개 중앙의 평면부위는 공칭두께로 9mm로 제작하여 규정파단압력을 유지할 수 있도록 하였다.

## 4. 유한요소 구조해석

설계타당성을 검증하고 응력분포를 알아보기 위해 유한요소 구조해석을 수행하였

다. pre-processing과 post-processing은 PATRAN을 이용하였고 solver로는 ABAQUS를 이용하였다. hexa-element에 의한 solid modeling을 하였으며 노치 부위의 응력분포를 세밀하게 관찰하기 위하여 그림 4와 같이 좁은 간격으로 meshing하였다. Half-model의 element수는 4,920개가 되었다. Material property는 isotropic으로 analysis method는 linear static으로 해석하였다. 하중조건은 내압에 의한 영향을 평가하기 위한 분포하중과, 탄층돌을 모사하기 위한 집중하중의 두가지 경우로 나누어 평가하였다.

그림 5는 분포하중에 의한 변형도에서의 응력분포를 나타내고 있다. 덮개 내면에 25psi의 균일한 압력을 인가한 상태이며 최대응력은 덮개상부 내면의 노치 끝부위에서 관찰된다. 그림 6은 집중하중에 의한 변형도에서의 응력분포를 나타내고 있다. 내면 중앙부위에 150kgf의 집중하중을 가한 상태이며 최대응력은 하중이 가해진 부위에서 관찰된다. 최대응력의 관찰위치는 덮개의 파괴 시작위치, 파단후 분리방향 등과 밀접한 관련이 있다.

#### 5. 공압에 의한 분리성능시험

덮개의 분리성능을 평가하기 위해서는 덮개의 파괴압력과 파괴양상의 조사가 필요하다. 그림 7에는 여러가지 종류의 덮개들에 대한 내압지지 및 외압지지 능력을 평가하기 위한 공압시험장치와 공압시험치구가 나타나 있다. 이때 압력의 작용은 압축공기를 이용하였으며 압력의 크기는 Dynisco PT370DFH-1C 압력센서(용량 100psi)와 Vishay 2100 Amplifier, PCB 112A03 압력센서와 ICP-charge dual mode amp를 이용하여 측정하였다.

공압시험치구는 두 부분으로 구성되어 있으며 시험하고자 하는 덮개를 치구에 끼운 다음 볼트로 치구를 고정시킴을 알 수 있다. 특히 압력을 작용할때 기밀을 유지하기 위해 공압시험치구의 가공홈에 O-링을 사용하였다. 공압시험치구는 덮개를 끼우는

방향에 따라 내압공압시험과 외압공압시험이 가능하도록 되어 있다. 이와 같은 공압 시험장치를 이용하면 덮개의 파괴압력을 정확히 측정할수 있기 때문에 여러가지 종류의 덮개들에 대한 내압지지 및 외압지지능력을 평가할 수 있다.

앞덮개의 파괴양상을 정확히 관찰하기 위해서는 비행시험과 유사한 하중조건이 작용이 필수적이다. 본 연구에서 사용한 공압시험장치는 공기저장탱크에 일정한 압력의 압축공기를 저장한 다음 솔레노이드 밸브를 순간적으로 열어 덮개 조립부위에 균일한 압력을 가할 수 있도록 되어 있다. 또한 덮개의 파괴양상은 비디오로 녹화 관찰하였으며 파괴후에 잔류하는 테두리 부위는 육안으로 관찰하였다.

#### 6. 탄층돌에 의한 분리성능시험

유도탄의 충격에 의한 덮개 파괴 양상을 관찰하기 위해 탄층돌 시험을 수행하였다. 그림 8과 같이 덮개를 발사관에 조립하고 유도탄 뒷부분에 load cell을 장착한 후 발사관 내부의 dummy 유도탄을 덮개방향으로 이동시켜 덮개의 분리가 끝날 때까지의 최대 하중을 기록하고 파괴양상을 관찰하였다.

#### 7. 시험결과 및 고찰

표 2에는 덮개의 성능을 조사하기 위해 수행한 공압 파단시험의 종류를 나타내었다. 시험 A에서는 공칭두께 5mm의 앞덮개에 내압을 작용시켜 파괴압력을 측정하였다. 이 시험을 통해서 충분한 양의 파단 압력을 유지하지 못하였다. 시험 B에서는 공칭두께 9mm의 앞덮개에 내압을 작용시켜 파괴압력을 측정하였다. 이 결과 홈의 깊이를 변수로 하여 비행시험에 적용할 규정파단압력을 나타내었다. 시험 C에서는 공칭두께 9mm의 앞덮개를 반대방향으로 조립하여 인접발사관의 발사시 받게되는 외압에 의한 파괴압력을 측정하였다. 이 결과 공압시험을 통해서 덮개를 파단시킬 수

없었다. 여기에서 얻어진 결과를 시험 B의 결과와 비교하면 흡의 방향이 앞 뒤 반대일 경우 흡의 위치에 따른 덮개의 내외압 지지능력을 서로 비교할 수 있다. 시험 D에서는 중앙에 흡이 존재하지 않는 뒷덮개에 내압을 작용시켜 파괴압력을 측정하였다. 여기에서 얻어진 결과를 시험 B의 결과와 비교하면 앞뒷덮개의 내압지지능력을 상호참조할 수 있다.

그림 9에는 공압시험을 통해 얻은 파괴압력선도가 나타나 있다. 최대압력을 나타내는 시간이 덮개가 파괴, 분리되기 시작하는 때이다. 양쪽 센서에서 측정한 결과가 같은 것으로 보아 이 정도의 압력증가속도에서는 스트레인 게이지 타입의 센서로도 동압측정에 오차가 발생하지 않는 것을 알 수 있다.

그림 10에는 덮개 A에 내압을 작용시킨 시험 A의 파괴압력 결과들이 나타나 있다. 여기에서 보면 덮개 A의 최대파괴 압력은 25psi이나 흡의 깊이가 너무 얇아 테두리 흡을 따라 파괴되지 않기 때문에 공칭두께가 모자람을 알 수 있다. 이보다 더 깊은 흡두께에서는 비행시험에 적용되는 뒷덮개의 파괴 압력을 나타내지 못하였다. 표 3에는 덮개 B에 내압을 작용시킨 시험 B의 파괴압력을 나타내었는데 십자형 덮개는 20psi의 압력에서, 일자형 덮개는 최대 28psi의 압력에서 분리되었다. 비행시험에서 필요한 25psi를 만족시키는 값임을 알 수 있다. 한편 조립방향을 반대로 하여 시험한 결과는 34psi에서도 덮개의 분리가 일어나지 않아 외압지지능력이 내압의 경우보다 훨씬 큰 것으로 나타났다. 뒷덮개의 공압시험 결과는 흡부위 잔여 두께가 4.8mm 일 때 표 4에서 보는 바와 같이 평균 30psi의 파괴압력을 나타내었다.

표 5에는 탄충돌에 의한 덮개의 분리 시험시 탄두가 받는 최대하중을 나타내었다. 모든 경우에서 제한 하중인 250kgf 보다 낮은 하중으로 파단이 일어났으나 중앙 부위의 집중하중으로 인하여 일자흡에 수직방향으로도 파단이 일어나 대부분 세조각으로 분리되는 양상을 보였다.

## 8. 결 론

발사관 덮개의 재질에 따른 기계적 물성을 확인하고 형상설계를 하였으며, 조립 방법을 플랜지 형태로 하여 밀폐성능을 만족하였다. 제작된 덮개의 성능을 검증하기 위해 유한요소 구조해석, 공압시험 및 유도탄 충돌시험을 수행하였다. 이상의 결과로 부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 사출성형공법 및 플랜지 형태로 제작된 덮개는 단면에 기공이 존재하지 않고 조립부위에서 완벽한 기밀유지를 나타내며 보수유지를 위한 탈장착이 가능하다.
2. 공압시험의 결과로부터, 적절한 내압에 의해 분리되며 외압에 견디는 덮개의 최적 설계를 검증하였다.
3. 유도탄과의 충돌시 악영향을 주지 않는 범위에서 앞덮개가 분리됨을 확인하였다.
4. 앞덮개 내부상하에 서로 다른 깊이의 노치를 주는 방법으로 덮개 분리방향을 조절하여, 유도탄 화염에 의한 재충돌의 우려가 없도록 하였다.

## 참 고 문 헌

1. ASTM D638, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics," Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01, pp.159-171.
2. ASTM D790, "Standard Test Method for Flexural Properties of Unidirectional and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials," Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01, pp.269-278.
3. D. E. Walrath and D. F. Adams, "The Iosipescu Shear Test As Applied to Composite Materials," Experimental Mechanics, Vol.23, pp.105-110, 1983.
4. PCB International, Private Communication.
5. 윤성호, 손영일, 강희철, 조원만, 정 발, "천마발사관 앞덮개의 성능개선 연구," MSDC-516-93123, 1993.

표 1. Noryl 수지의 기계적 물성

항 목	NC-208
인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	754
IZOD충격강도 (kg-cm/cm)	9.4
굴곡강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	1,216

표 2. 덮개 공압 파단시험의 종류

시험 종류	공칭 두께	덮개의 종류	체결 방향	비 고
시험 A	5 mm	앞덮개	정방향	초기시험
시험 B	9 mm	앞덮개	정방향	내압평가
시험 C	9 mm	앞덮개	역방향	외압평가
시험 D	9 mm	뒷덮개	정방향	내압평가

표 3. 일자형 및 십자형 덮개의 파단압력

십자형 덮개	외부흡(3.0mm) 내부흡(4.0mm)
정방향 조립	18.4 psi 20.4 psi
역방향 조립	33.4 psi(NF) 34.2 psi(NF)

일자형 덮개		외부흡 잔여두께	
		3.7mm	4.7mm
내부흡 잔여두께 (Max/ Min)	3.5/5.0mm	17.9 psi 34.0(NF)	- -
	4.5/5.3mm	23.5 psi 36.0(NF)	- -
	4.6/6.2mm	18.4 psi 19.8 psi	26.3 psi 28.0 psi
	5.5/6.6mm	21.3 psi 21.9 psi	- 27.3 psi

표 4. 덮개의 공압파단 압력

덮개의 종류	외부흡 잔여두께 (mm)	내부흡 잔여두께 (mm)		공압 (psi)
		Max	Min	
앞덮개	6.3	6.6	6.1	27.3
	5.1	7.7	7.2	18.4
	5.3	7.6	6.9	19.8
	6.2	7.8	7.3	21.3
	6.2	7.9	6.9	21.9
	6.4	7.9	6.2	26.3
뒷덮개	6.3	8.0	6.4	25.2
	-	4.8	-	33.9
	-	4.9	-	29.9
	-	4.8	-	24.9
	-	5.8	-	35.6
	-	5.8	-	35.4(NF)
	-	5.8	-	35.5
-	5.8	-	36.2(NF)	

표 5. 유도탄 충돌시험 결과

외부흡 잔여두께 (mm)	내부흡 잔여두께 (mm)		하중 (kgf)	비고
	Max	Min		
6.3	6.9	6.2	140	3 piece
6.3	6.8	6.0	210	2 piece
5.1	7.7	7.2	200	3 piece
5.3	7.7	7.0	200	3 piece
6.2	7.8	7.3	160	3 piece
6.4	7.6	7.2	180	3 piece
6.4	7.9	6.2	130	3 piece
6.5	8.0	5.9	130	3 piece
5.2	7.4	5.9	120	2 piece
5.3	7.9	6.0	210	2 piece
5.1	6.9	5.8	160	2 piece
5.3	6.5	6.0	240	1 piece

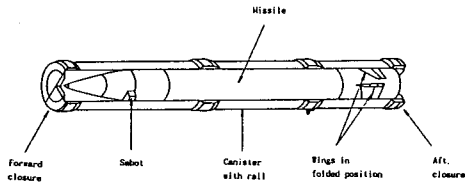


그림 1. 발사관 조립체 단면

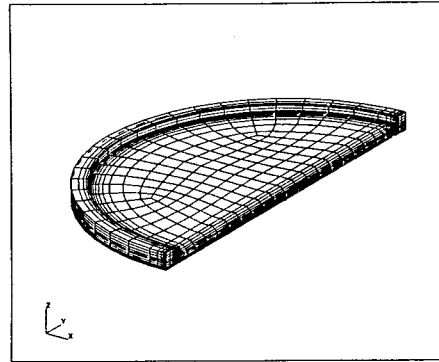


그림 4. 앞덮개의 solid modeling 형상

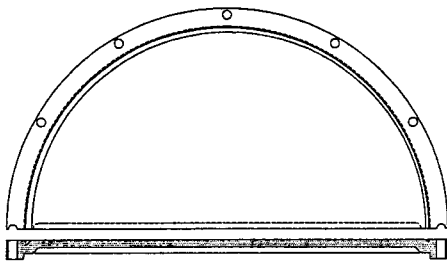


그림 2. 발사관 덮개의 형상

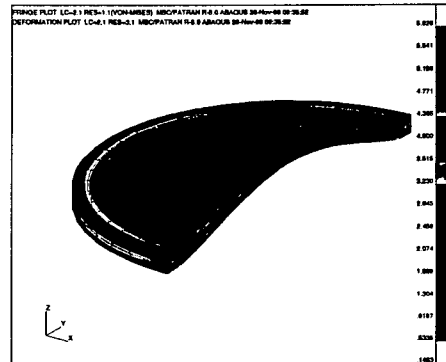


그림 5. 분포하중에 의한 앞덮개 응력분포

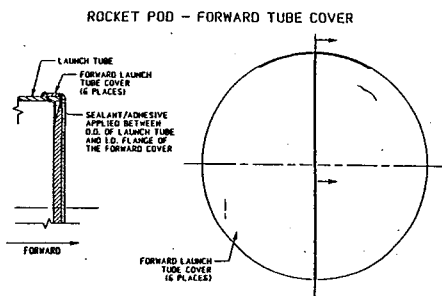


그림 3. MLRS의 앞덮개 형상

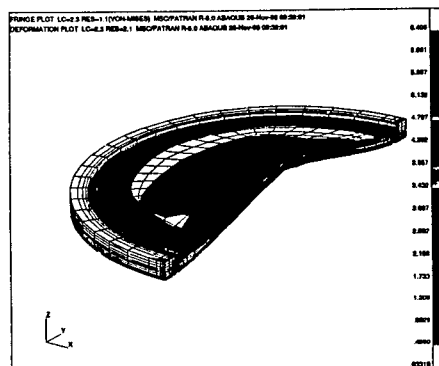


그림 6. 집중하중에 의한 앞덮개 응력분포

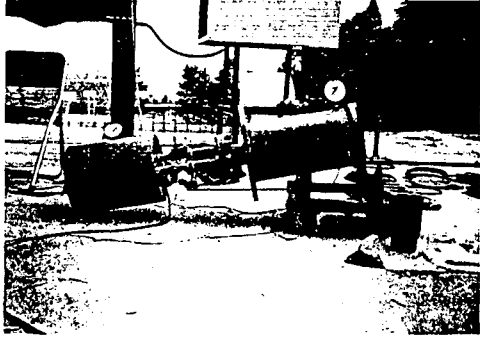


그림 7. 뒷개 공압 파단시험

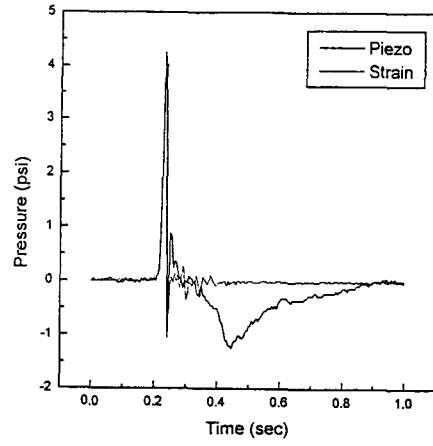


그림 9. 공압시험의 시간-압력 선도

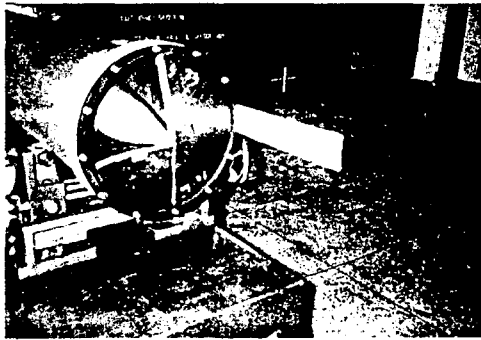


그림 8. 앞덮개 탄충돌 파단시험

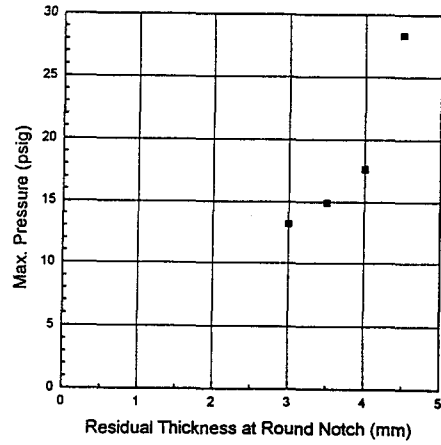


그림 10. 홈 잔여두께와 공압 파단압력