

< 기술논문 >

케미컬 밀링을 이용한 실린더 경량화 연구

이종웅<sup>†</sup> · 유준태\* · 윤종훈\* · 장영순\* · 이영무\* · 강석봉\*\*  
 (2005년 4월 1일 접수, 2006년 2월 21일 심사완료)

A Study on the Light Cylinder Using Chemical Milling

Jong-Woong Lee, Joon-Tae Yoo, Jong-Hoon Yoon,  
 Young-Soon Jang, Yeong-Moo Yi and Suk-bong Kang

**Key Words:** Chemical Milling(화학연마), Maskant(피복제), Etchant(부식액), Lightweight(경량화)

Abstract

The process for reducing the weight of the structure is chiefly performed by the machine processing. But, increasing the weight for strength of welding zone and geometrical defect are occurred in machine processing. In this study, chemical milling is applied to reduce the weight of the cylinder. Before chemical milling is applied to the cylinder, specimen testing is performed. After the specimen testing, NaOH 15% is selected to perform the chemical milling. After the chemical milling, the velocity of reagent is 0.0016 mm/min and the thickness of cylinder is about 2.4 mm after chemical milling.

기호설명

- $F_e$  : 부식계수
- $u$  : 언더컷 (마스킹표면과 수평으로 부식되는 거리)
- $d$  : 절삭 깊이(마스킹표면과 수직으로 부식되는 거리)

모양에 적용이 가능하다. 산업공정으로서의 응용은 2차 세계대전 직후 항공기 산업에서 시작되었다. Chemical milling은 Chemical machining 공정 중에서도 처음으로 상용화되었고, Chem-mill이라고 불린다. 현재 비용 효율이 높은 가공방법의 하나로 알려져 있으며, 비행기 엔진부 및 군사무기 부분에 적용되고 있다. 본 논문에서는 케미컬 밀링 공정을 실린더에 적용해 보았으며 적용가능성을 고찰해 보았다.

1. 서 론

Chemical machining은 복잡한 형상을 얻기 위하여 용해, 부식 등의 방법으로 가공하는 것으로 재료의 정밀가공의 한 예이다. 화학적 부식 방법으로 금속재료의 상당히 큰 양을 제거할 수 있고 기계가공이 어려운 윤곽을 가진 모든 금속형태와

2. 제작 공정

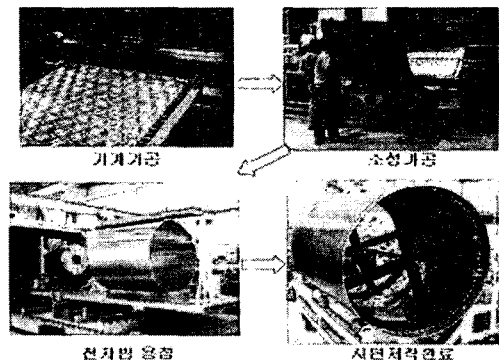


Fig. 1 Mechanical process

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 한국항공우주연구원  
 E-mail : jwlee@kari.re.kr  
 TEL : (042)860-2587 FAX : (042)860-2233  
 \* 한국항공우주연구원  
 \*\* 두원중공업

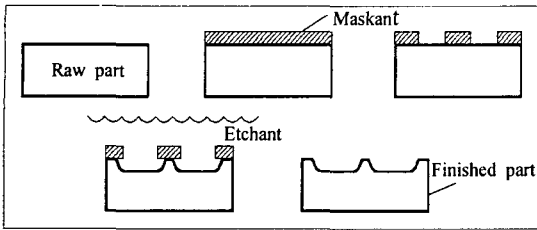


Fig. 2 Chemical milling process

기계가공의 과정은 Fig. 1에 나타나 있다. 판 소재에 기계가공으로 일정한 모양의 패턴을 제거한 후 소성가공(Roll forming) 및 용접을 통해 실린더 형태의 시편을 만든다.<sup>(1)</sup> 위의 기계가공은 많이 사용되고 있는 방법이지만, 판 소재에서 일정부분을 제거 후 소성가공을 하게 되면 제거된 부분과 제거되지 않은 부분과의 두께 차이에 의해 강성차이가 발생하여 형상공차가 나타나게 된다. Fig. 3에 형상공차를 나타내었다. 왼쪽 그림은 2개의 패널사이에 직선 자를 놓고 패널의 형상공차를 확인하는 그림이고, 오른쪽 그림은 그 형상을 개략화한 그림이다. 실린더의 지름 및 길이가 증가하면 형상공차는 더 커질 것이다. 이에 비해 화학가공은 소성가공 및 용접 후에 화학반응에 의해 재료가 제거되므로 소성가공과정에서 발생하는 형상공차를 줄일 수 있으며, 기계가공시에 필요한 좌표축이 필요 없고 가공 후 재료표면의 두께차가 균일한 장점이 있다. 화학가공의 적용은 첫째로 시편을 이용하여 부식액 및 마스크재료의 선택 및 온도, 농도 등의 파라메타 적절성 여부를 판단하고, 결과를 이용하여 실제 실린더에 적용하였다.

2.1 화학 가공

일반적인 화학가공의 공정은 Fig. 2의 총 5단계의 공정으로 나뉜다.

- (1) 세척 - 재료가 부식 면으로부터 균일하게 제거하기 위한 세척과정
- (2) 마스크킹 - 피복제라고 불리는 보호막을 부식되지 말아야하는 부품표면에 분포시켜 화학적으로 저항성을 갖게 하는 과정.
- (3) 마스크킹 부분 제거 - 재료가 제거되어야 하는 부분의 마스크킹을 제거하는 과정.

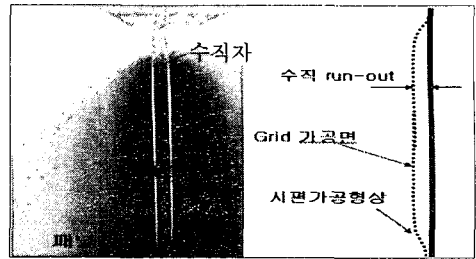


Fig. 3 Shape of runout<sup>(1)</sup>

- (4) 부식 - 재료제거 단계로서 공작물을 부식액에 담가서 부품표면 중 마스크킹이 형성되지 않은 영역을 화학적으로 제거하고 원하는 양의 재료가 제거되면 부품을 꺼내 공정이 정지하도록 세척하는 과정.
- (5) 마스크킹제거 - 피복제를 부품으로부터 제거하는 과정

세척과정으로는 유기용제를 탈지 후 알칼리 탈지를 거쳐 수세 및 소재표면의 찌꺼기를 제거한다. 다시 수세를 한 뒤 건조과정으로 마무리를 한다. 부식액으로부터 표면을 보호하는 마스크킹 재료에는 neoprene, polyvinyl chloride 및 기타 polymer등이 있으며 본 논문에서는 액상의 마스크킹제인 45 stopping of lacquer를 사용하였다. 부식액으로는 알루미늄계열에 적용되는 수산화나트륨과 염화수소를 사용하였다.

화학 가공의 특이한 점은 Fig. 4와 같은 언더컷 형상이 발생한다. 화학 가공시 공작물 내부로 부식이 침투함에 따라 마스크킹의 아래 옆쪽으로 부식이 이루어지는데, 이를 언더컷(u)이라고 한다. 재료제거속도는 부식액에 의한 공작물 재료에 대한 화학적 공격의 속도가 표면방향(d)으로 이루어지므로 침투속도를 mm/min으로 표시하며, 표면적에 영향을 받지 않는 특징을 갖고 있다. 설계하고자 하는 치수에 합당한 절삭결과를 보장하기 위해서는 마스크킹의 설계에서 언더컷을 고려하여야 한다. 이때 사용되는 비례상수를 부식계수(F<sub>e</sub>)라 한다.

$$F_e = u/d \tag{1}$$

재료에 따라 서로 다른 부식 계수를 갖는다. 부식계수는 피복제의 절단영역의 치수를 결정하는데 사용되며, 부품에 부식할 영역의 특정치수를 얻을 수 있도록 한다. 알루미늄에 대한 일반적인 가공속도는 80℃ 기준으로 0.018 mm/min이며 부식계수는 1.75이다.<sup>(2)</sup>

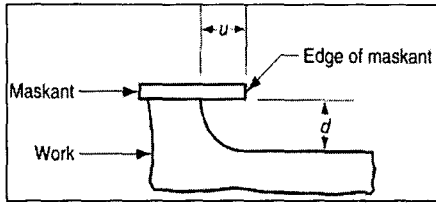


Fig. 4 Undercut of chemical milling

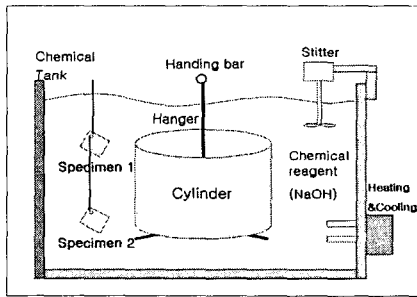


Fig. 5 Workspace of chemical milling

Table 1 Condition of specimen testing

	Reagent	density	Temp.
Specimen 1	NaOH	15%	50 °C
Specimen 2	HCl	15%	Room Temp.
Specimen 3	NaOH	15%	27 °C, 28 °C

Fig. 5는 화학가공용 탱크내부 모습을 나타낸 그림이다. 탱크내부에는 부식액이 담겨져 있고, 부식액 속에는 화학가공을 위해 마스크 된 부품이 담겨져 있다. 부식액의 순환을 위한 교반기를 설치하여 상·하로 용액이 잘 순환하도록 하였다.

2.2 시편에 대한 화학가공

알루미늄 실린더에 화학연마를 적용하기에 앞서 마스크, 부식액의 선택, 농도 등을 시험하기 위해 알루미늄 시편에 적용하였다. 시편의 크기는 100 mm × 100 mm × 4 mm이며, 일정한 곡률을 가지고 있다. 전처리 단계로 유기용제 탈지, 알칼리 탈지, 수세, De-smut, 수세 그리고 건조의 단계를 거친 후 액상의 마스크제를 붓으로 2회를 바른 후 24시간 건조하였다. 화학연마는 3가지 방법을 사용하였는데, 방법 1은 가성소다 고온법으

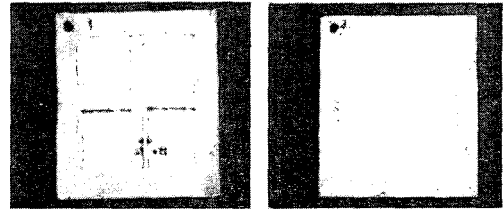


Fig. 6 Result of specimen\_1  
- NaOH 15%, 50 °C

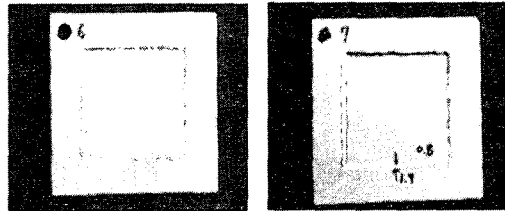


Fig. 7 Result of specimen\_2  
- HCl 15%, Room temperature

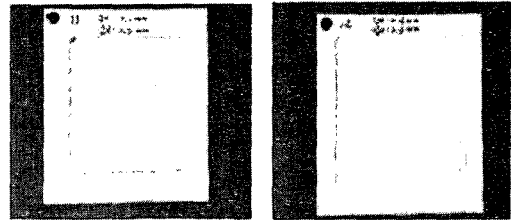


Fig. 8 Result of specimen\_3  
- NaOH 15%, 27 °C, 28 °C

로 농도는 NaOH 15%, 온도는 50 °C이며, 방법 2는 염산법으로 농도는 HCl 15%, 온도는 실온이다. 그리고 방법 3은 가성소다 상온법으로 농도는 NaOH 15%, 온도는 27 °C, 28 °C이다. Fig. 6, 7, 8은 각각 방법 1, 2, 3에 의한 알루미늄 시편 결과이다. 결과로서 방법 1에 의한 가성소다 고온법은 마스크의 박리로 인하여 화학가공이 이루어지지 않았다. 방법 2에 의한 염산법은 부분적 마스크 박리가 발생하였으며 표면이 균일하지 않았다. 방법 3에 의한 가성소다 상온법은 마스크에 이상 없으며, 표면이 균일하게 연마가 이루어졌다.

온도 27 °C에서는 깊이 2.2 mm, 넓이 2.2mm가 연마되었고, 온도 28 °C에서는 깊이 2.4 mm, 넓이 2.4 mm가 연마되었다. 방법 1과 3을 비교했을 때 방법 1은 고온으로 인해 마스크가 박리되었다

고 판단이 되며, 방법 2와 3 을 비교했을 때 가성소다법이 염산법보다 표면의 균일성에서 우수함을 판단할 수 있다. 전처리 과정에서 탈지 및 건조후에 마스크를 실시하고 장시간 건조를 한 결과 마스크가 우수하게 이루어졌으며, 화학가공은 염산법보다는 가성소다법에서 균일성이 우수하고 고온보다는 저온에서 마스크성에 안정성이 좋았다. 따라서 알루미늄 실린더에 적용될 적당한 방법은 방법 3인 가성소다 상온법으로 정하였다. Table 1에 실험조건을 정리하였다.

### 3. 실린더에 대한 화학가공

#### 3.1 작업조건 및 방법

화학연마에 사용된 실린더는 지름 1000 mm, 높이 700 mm 그리고 두께 5.08 mm의 알루미늄 재질이다. 화학연마용 부식액을 담을 수 있는 탱크 크기 및 용액, 사용된 장비는 Table 2에 정리하였다. 전처리로서 유기용제 탈지, 2분간 알칼리 탈지, 1분간 수세 및 찌꺼기 제거 후 다시 1분간 수세 후 70분간 건조과정을 수행하였다. 마스크는 액상의 마스크제를 붓으로 3회를 바르고, 5 일 동안 건조 후에 경계면은 칼을 이용하여 제거하였다. 실린더의 화학가공 중에 실린더 자체의 가공정도를 매번 확인하기 어렵기 때문에 마스크된 시편 2개를 상부 및 하부에 침적시켜 시간대별로 가공도 측정 및 특기사항을 확인하였다. 가공량의 목표는  $2.4 \pm 0.1$  mm로 정하였다. Fig. 9는 실린더와 시편에 마스크를 한 그림이며, Fig. 10은 화학연마 후의 실린더 모습이다. 실린더의 이동을 위해 삼발이 치구를 사용하였다. 실린더 내부의 까만 부분은 화학반응에 의해 침식이 일어난 부분이다. Fig. 11은 화학연마 후 소재표면에 발생한 부식찌꺼기를 제거하는 과정이다. Fig. 12는 실린더 외부의 표면처리를 하는 과정이다.

Table 2 Equipment ability

	Size	Capacity	etc.
Chemical tank	1.3 m × 1.3 m × 1 m	1690l	
Reagent	NaOH	1300l	
stirrer	Portable type	3000l	0.75kW



Fig. 9 Maskant of cylinder and specimen

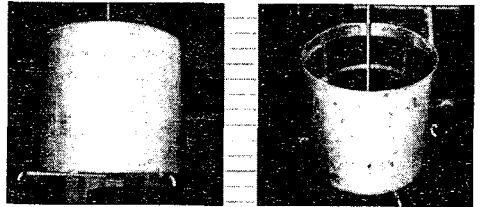


Fig. 10 Chemical milling of cylinder



Fig. 11 De-smut of cylinder

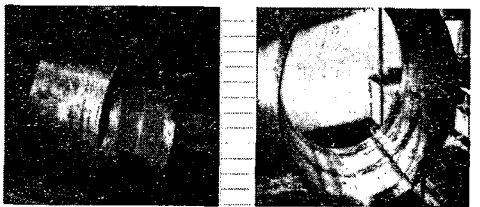


Fig. 12 Chromate of cylinder

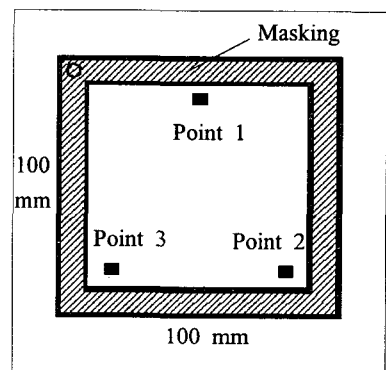


Fig. 13 Shape of specimen

**Table 3** Thickness of specimen 1 at each point

Time	Specimen 1		
	Point 1	Point 2	Point 3
0	4.655 mm	4.628 mm	4.630 mm
1 H	-	-	-
2 H	4.453 mm	4.430 mm	4.430 mm
4 H	4.248 mm	4.226 mm	4.226 mm
24 H	2.381 mm	2.361 mm	2.378 mm

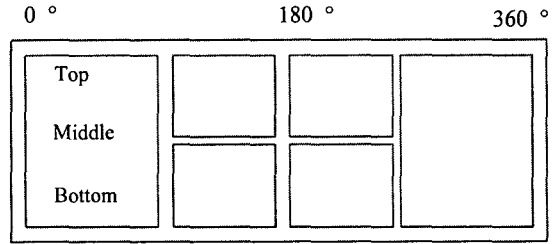
**Table 4** Thickness of specimen 2 at each point

Time	Specimen 2		
	Point 1	Point 2	Point 3
0	4.664 mm	4.621 mm	4.680 mm
1 H	-	-	-
2 H	4.461 mm	4.421 mm	4.476 mm
4 H	4.254 mm	4.215 mm	4.274 mm
24 H	2.397 mm	2.383 mm	2.401 mm

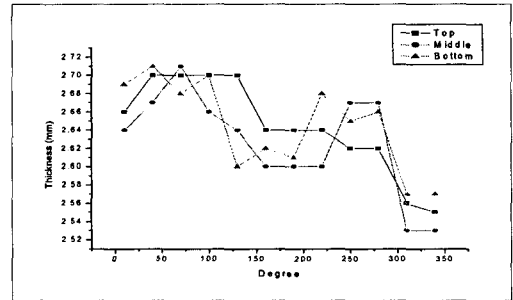
3.2 시간별 화학가공

위의 Fig. 13과 같은 시편 2개를 탱크 상부로부터 각 각 440 mm, 1080 mm에 설치하였다. Table 3, 4는 시편 1, 2에 대해 시간에 따른 각 Point에서의 시편두께를 나타낸다. 시편치수 확인은 매 2시간마다 실시하였다. Table 3, 4에는 4시간까지의 치수 및 최종시편치수를 정리하였다. 시간당 연마량을 살펴보면 시간당 시편 1은 0.1 mm, 시편 2는 0.101 mm이며, 이는 평균 0.0016 mm/min 로 나타낼 수 있다. 문헌<sup>(2)</sup>상에서의 가공속도와 차이를 보이는 이유는 고온에 의해 마스킹이 박리되어 가공액의 온도를 낮게 설정했기 때문이다. 최종시편의 연마량을 보면 모두 2.4±0.1 mm을 만족하였다. 실린더 형상이 곡면을 이루고 있어 실시간 측정이 불가능한 관계로 시편으로 가공된 치수를 측정하였다.

실린더에 대한 치수는 최종 가공 후에 측정하였다. 가공후 실린더의 두께 범위는 최소 2.57 mm에서 최대 2.71 mm로, 0.2 mm의 편차를 보였다. Fig. 14는 실린더를 전개한 그림으로 실린더 내부의 사각형부분이 가공하고자 하는 부분이다. Fig. 15는 각도에 따른 가공후의 두께를 나타낸 그래프이다. Top은 실린더의 상부, Middle은 실린더의 중간부 그리고 Bottom은 실린더의 하부를 나타낸다. 전개도상 약 150° - 225°와 300° - 350° 부위에서 가공이 많이 됨을 확인할 수 있다.



**Fig. 14** Development of cylinder



**Fig. 15** Thickness of cylinder

이는 용액순환이 잘 되지 않아 온도가 높은 곳은 가공량이 많고 온도가 상대적으로 낮은 곳은 가공량이 적었기 때문이라고 판단된다.

4. 결 과

화학가공결과 초기용액 온도는 25℃에서 1시간 화학연마 후 용액과 연마면과의 급격한 반응으로 온도가 30℃까지 상승하였고, 종료시점에서의 용액온도는 초기용액의 온도보다 9℃ 상승하였다. 가공중에 치수를 확인하기 위한 시편은 목표 가공량 2.4 mm를 기준으로 0.01 - 0.04의 범위를 갖는 반면에 실린더는 목표 가공량 2.4 mm를 기준으로 0.3 mm의 범위를 갖는다. 이는 용액순환이 잘 되지 않아 부분적 온도상승에 따른 가공량의 차이 때문이다. 그리고 온도를 30℃이상으로 연마 시에는 표면이 거칠게 형성되고 28℃이하일 때는 표면이 부드럽게 형성되었다. Fig. 16은 가공이 완료된 후의 실린더 내부 모습이다. Fig. 17은 마스킹 부위가 넓어 부분적으로 마스킹이 약한 부위로 액이 침투하여 부분적으로 부식이 발생된 것을 나타낸다.

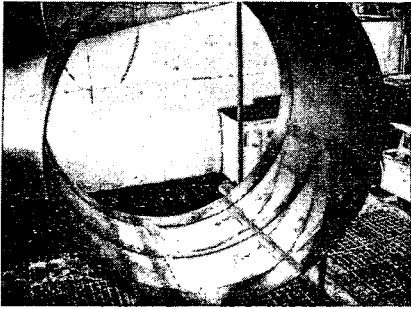


Fig. 16 Finished cylinder after chemical milling

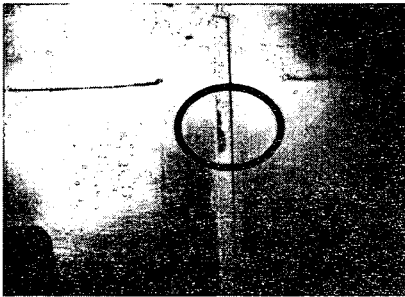


Fig. 17 Defected cylinder

## 5. 결 론

경량화 실린더 제작에 화학가공방법을 적용하였다.

(1) 케미컬 밀링을 이용하여 실린더의 경량화를 확인하였다.

(2) 시편 시험결과 부식액은 HCl 15%보다는 NaOH 15%, 온도는 높은 온도보다는 낮은 온도에서 알루미늄에 대한 화학가공이 안정하다.

(3) 5.08 mm의 두께를 가진 알루미늄에 부식액 NaOH 15%를 적용시킨 결과 부식계수  $F_c=0.0016$  mm/min 이다.

(4) 알루미늄 실린더중 150° - 220° 부분과 300° - 350° 부분에서 가공량이 상대적으로 많았다. 가공량의 차이는 용액의 교반이 잘 이루어지지 않았기 때문이며, 대상물의 부피가 커질수록 용액 교반에 대한 보완이 필요하다.

## 참고문헌

- (1) Yoo, J. T., Lee, J. W., Jang, Y. S. and Yi, Y. M., 2004, "Buckling Test and Non-linear Analysis of Aluminum Isogrid Panel," *AAAF, 2004 On Board Energetic Equipment, Session 12 Tank*.
- (2) Lee, J. N., 1979, "Chemical Milling," *The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 19, No. 4, pp. 273~278
- (3) Fadaei, T. A. and Imanian, E., 2004, "A New Etchant for The Chemical Machining of St304," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 149, Issues. 1-3, pp. 404~408
- (4) Chen, J. Z. and Wu, S. k., 1999, "Chemical Machined Thin Fioles of TiNi Shape Memory Alloy," *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 58, pp. 162~165.