

육후(肉厚) 가변 다이가 개척하는 신규 압출성형 기술

ハインツ・グロス*

訳: 酒井忠基**

머리말

고객으로부터의 끝없는 요구나 국제적인 경합의 격화에 대응하기 위해서는, 압출성형품에서는 품질향상 뿐만 아니라, 동시에 생산 코스트도 떨어뜨려야 한다. 이 2개의 요청은, 대부분의 경우, 상반 관계에 있지만, 업계에서는 그 양자를 만족시킬만한 해결책을 찾아내기 위한 방심하지 않는 노력이 계속되고 있다. 여기서 말하는 신기술은 압출성형품의 치수 변동을 최소화 하기 위해서 다이의 유로 형상을 정밀 조절하고, 압출 성형품의 치수 정밀도 향상에 기여하는 신규 다이를 제공하는 것이다. 이 다이의 채용에 의해서 중공(中空) 성형의 경우에는 성형 중에 감도 좋은 패리슨(Parison)의 두께를 조절할 수 있는 등, 압출성형품의 품질향상과 동시에 불필요한 재료 소비를 줄일 수 있다.

우리의 최종목표는, 이 다이 기술을 활용하여 모든 압출성형품의 두께를 성형공정 중에 조절할 수 있도록 하는 것이다.

1. 파이프 성형용 다이에 대한 적용

생산 라인 가동 중에 파이프의 전주(全周)에 걸친 두께치수를 제어하기 위해서는 다이 내의 한정된 부위 유로를 바꾸어야 한다. 이것은 다이의 유로 벽을 탄성적으로 변형시키면 가능하다. 캐스트 필름의 경우에는, 소위 프렉스립 다이를 사용하여 다이립을 바꾸면 용이하게 도달할 수 있다. 그 결과, 캐스트 필름에서는 파이프 성형에 비교하여, 높은 치수 정밀도가 달성되어 있다. 이 기술은 파이프에도 응용되는 것이 당연하다고 생각된다. 그러나 필름 같은 플랫 형상에 비교하여, 원형이 되면 다이의 강성이 상당히 높아서 그 실현은 보다 어려워졌다.

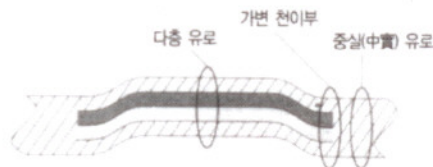
1.1 기술적 해결법

기계적으로는 다이의 유로벽을 얇게 만들어 변형하기 쉽게 하면 좋지만, 문제는 얇게 하면 용융 폴리머의 성형 압력에 견딜 수 없는 것이다. 이 해결법으로는, 판 용수철처럼 많은 얇은

판자의 집합체 구조로 하여, 내압에 견딜 수 있는 가능성을 가진 격벽 구조로 하는 방법이 있다.

우리는 이 목표를 향하여 획기적인 방법을 찾아낼 수 있었다. 그것은 어떤 부분만을 다층 격벽 구조로 하는 것이다¹⁾. 예를 들어, <그림 1>에서 보는 것처럼 약 0.05mm의 얇은 판자를 복잡한 다층 구조로 하면 좋다. 이와 같이 하면 다층 격벽판은 완전한 탄성 변형만으로 용이하게 제어할 수 있고, 미소한 부위더라도 유로에 대한 적용이 용이해진다.

이 목적으로 고안된 플렉스링 슬리브를 사용하면 특수한 압출성형 분야에도 적용할 수 있게 된다. 플렉스링 슬리브의 기본 구조인 다층 격벽판의 각 두께나 매수는 변형 거동이나 성형 압력에 따라 자유롭게 설계할 수 있다. <그림 2>는 플렉스링 다이를 나타내고, 오른쪽이 출구 부근의 단면이다. 이 플렉스링 슬리브 출구부는 주변에 부착된 조절 볼트로 쉽게 변형시킬 수 있다. 이 그림의 왼쪽은 이 플렉스링 슬리브를 기존의 다이에 조립한 부분을 나타낸다.



<그림 1> 이음매 없이 천이부를 가진 다층 유로의 단면도

* Dr. Ing. Heinz Gross
 그로스高分子加工技術事務所
 連絡先: Gross Kunststoff-Verfahrenstechnik,
 Ringstrasse 137, 64380 Rossdorf,
 Germany

** Tadamoto Sakai
 日本製鋼所社友 静岡大学客員教授

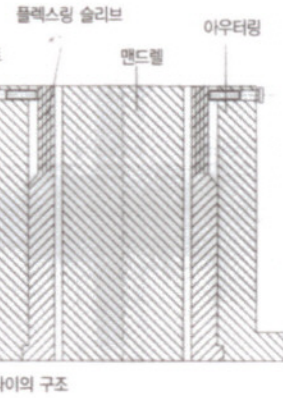
1.2 실시예와 실험 결과

우리는 각종의 파이프 다이에 이 플렉스링 슬리브를 조립해서 많은 실험을 실시하였다. <그림 3>은 외경 110mm이고, 두께 9mm의 PE 파이프에 대한 부피 분포를 나타낸 것이다. 굵은 선으로 나타낸 부피 분포는 기존법으로 얻은 것이다. 점선으로 나타낸 것은 출구의 틈을 조절 볼트로 제어하여 얻어진 결과이다. 여기서 얻어진 0.09mm이라는 두께 차수 정밀도는 기존의 방법으로는 도달할 수 없는 수치이다.

파이프 성형에 플렉스링 슬리브를 사용하는 이점은 운전개시 때의 조작에도 나타난다 (그림 4). 재료의 체류에 따라 운전 개시 직후 파이프의 부피 분포는 굵은 선으로 표시되는 상태가 되지만, 플렉스링 슬리브에서는 운

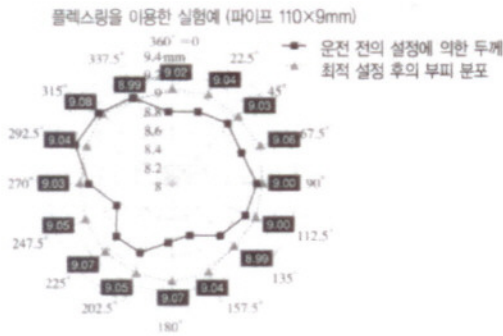
전 중에 유로를 조정하는 것으로 라인을 멈추지 않고, 또한 다이를 청소하는 일없이, 점선으로 나타낸 부피 분포로 되돌릴 수 있다.

플렉스링 기술의 적용은 다이 출구에서의 유로 조정에만 한정되는 것이 아니다. 예를 들어, 플렉스링 슬리브는 다이의 내부에도 사용할 수 있기

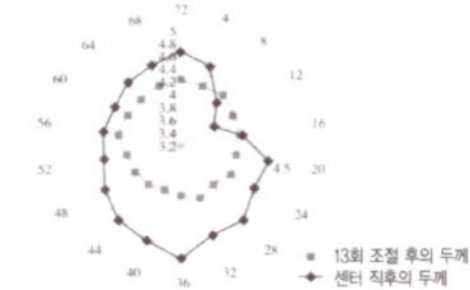


<그림 2> 플렉스링 다이의 단면도와 플렉스링 슬리브와 일체가 된 아우터링의 외관

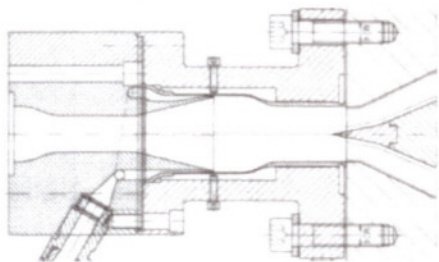
때문에 여러 개의 유로를 사용하는 공압출 성형에서도, 생산 라인을 멈추지 않고 원활한 제어를 할 수 있다. 공압출 성형에 있어서 유로를 제어하는 데 가장 알맞은 장소는 복수의 유로가 합류하는 부위이다. <그림 5>에는 주재와 피복재를 합류시키는 피드 블록의 단면을 나타낸다. 이 위치에 변형 가



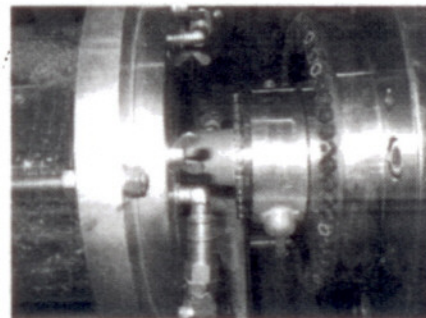
<그림 3> 기존법과 이번 유로 조정법의 체적 분포 비교



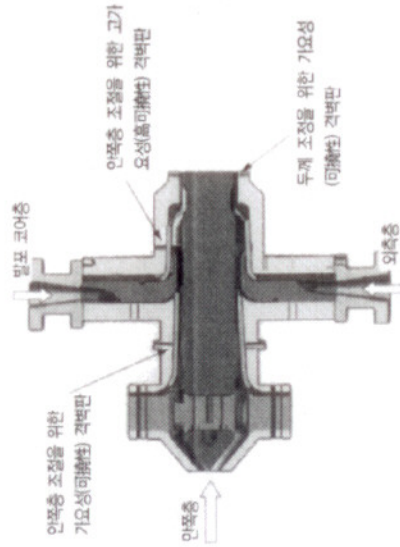
<그림 4> 플렉스링에 대한 비대칭 변형 상황 (중공(中空) 성형 다이)



<그림 5> 15장의 가요성(可撓性)을 가진 격벽판으로 구성된 피드 블록 주위에 설치된 조절 볼트에 의한 방사상 방향에서의 유로 조정 구조



<그림 6> 아우터링을 바꾸어 플렉스링 슬리브와 조합하는 것만으로 단일 유로 다이를 복수 유로 다리로 변환한 예 : 최초의 층은 파이프의 외경 치수를 제어, 다음 층은 파이프의 총두께를 제어



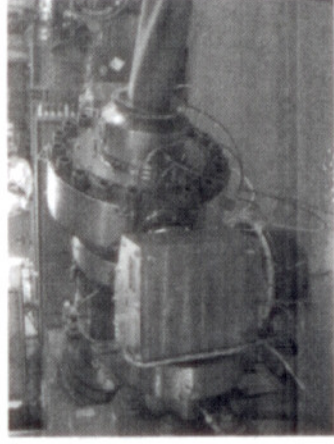
(그림 7) 각 층의 육후(肉厚) 제어를 가능하게 하는 3층 구조의 PVC 파이프 성형용 다이

능한 격벽 구조를 적용하면, 유로를 자유롭게 조정할 수 있다. 그렇게 하면, 생산 라인을 중지하지 않고서, 또한 각각의 수직층 두께를 어지럽히지 않고 전주(全周) 방향의 유로를 정밀하게 제어할 수 있다. 더구나, 이 조작을 하는 동안 유로 형상은 항상 점차적으로 변화되기 때문에 유로 내에 체류 개소라든가 불안정한 흐름을 발생시키는 일은 없다. 따라서, PVC의 파이프에도 이 기술을 적용할 수 있다.

시험상아 플렉스링을 사용하여 Kraus-Maffei사제의 일층 구조 다이를 2층 구조 다일로 변형해 보았다. 우선, 외측 피복층의 부피 분포를 정밀하게 제어할 수 있도록 2층의 합류 영역을 다층 격벽 구조로 하였다. 그리고 다이의 출구 부분도 다층 격벽 구조로 바꾸고 파이프의 두께 전체를 조정할 수 있도록 하였다. (그림 6)에 가동 중의 다이를 나타낸다. 이 플렉스링 다이의 특징은 아우터링 본체에 2열의 조절 볼트를 정비시킨 것이다. 이러한 조절 볼트 층, 외경이 큰 본체에 설치한 것이 파이프의 외측 피복층 두께를 조정하는 것이다. 파이프 두께의 전체 조정은 다이의 출구에 설치한



(그림 8) 중임 유로 조절 부품 : 양끝을 후속 물렌지로 고정하고 중간부는 변형하기 쉬운 20장의 얇은 격벽판으로 구성되어 있다



(그림 9) 3층의 유로를 가진 공압식 성형용 플렉스링 다이 (운전 개시때)

조절 볼트로 한다.

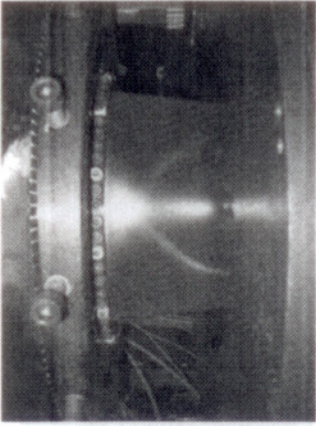
이 결과에 따라, 발포층을 중간 수직층으로 하는 PVC 파이프용 신규 3층 구조 다이를 개발하였다. 이 다이에서는 3층의 유로를 각각 개별로 탄성 변형으로 제어할 수 있도록 되어 있고, 두께 전체의 조정 뿐만 아니라 안쪽층 및 외측층도 개별로 제어할 수 있다 (그림 7). 안쪽층을 제어하기 위해서는 직접, 하우징에 설치한 변형 가능한 다층 격벽판을 조정한다. 이것에 의해서 부품 점수가 줄어들고 다이로부터의 용융 수지 누설 방지, 유지보수의 용이성도 향상시킬 수 있었다.

외측 피복층은 단축 압출기를 사용하여 다이의 앞에 설치한 분기관으로 부터 다이 내에 공급된다. 각각의 유로 형상은 요구되는 치수 정밀도가 되도록, 엄밀하게 제어되어야 한다. 이

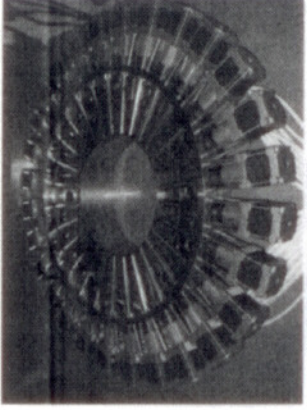
목적에서는, 2개의 유로를 하나로 잘 통합할 수 있는 조임 밸브를 사용한다. 이것에 의해서 두번째 유로에 따라 유로 저항을 조절하는 것이 가능해졌다. (그림 8)에 이 조임 밸브를 나타낸다. 이것은 중심의 플랫 부분에 20장의 얇은 판자이고, 또한 서로 지지되는 격벽 구조로 구성되어 그 유로 단면은 특수한 조절장치로 자유롭게 조정할 수 있다. 초기 때, 라인에 설치된 다이의 전체 사전을 (그림 9)에 나타낸다.

2. 인플레이션 필름 성형용 다이에 대한 적용

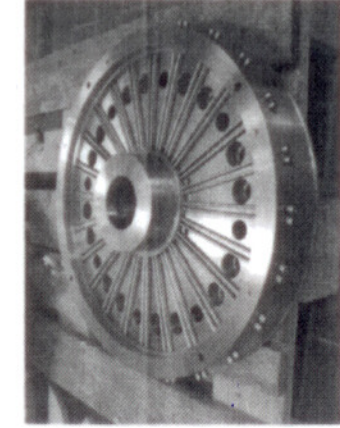
플렉스링 다이는 인플레이션 필름 성형에도 적용할 수 있다. 인플레이션



(그림 10) 외경이 248mm이고 72개의 조절 볼트를 가진 플렉스링 다이 (수냉 링 삽입부)



(그림 11) 다단 인플레이션 성형에 사용하는 자동 플렉스링 다이 : 유로를 감도 좋게 제어하기 위해서 28개의 자동 피드 기구가 부착된 것



(그림 12) 3층의 유로를 가진 다층 다이에 사용하는 플렉스링 디스크 : 중간층의 두께를 최적화하기 위해서 가요성(可撓性)이 있는 격벽부에 48개의 조절 볼트를 부착시키고 있다

다이는 주로 다이 출구에서의 유로 크기가 파이프 다이와는 크게 다르다. 통상의 인플레이션 성형에서는 필름 두께가 온도와 공냉 속도 제어로 조정되고 있다.

한편, 다단 인플레이션 성형을 쓰면 보다 고도의 필름 특성이 얻어지기 때문에 조금 점차 중요해지고 있지만, 이 성형법에서는 앞서 말한 두께 조정 수법을 적용할 수 없다. 다단 인플레이션 성형에서는 용융 폴리머가 다이로부터 나가면, 공냉이 아니라 물로 즉시 냉각되기 때문에 냉각 과정 중에 연신(延伸) 조작을 적용할 수 없기 때문이다 (그림 10). 그 결과, 플렉스링 다이가 등장할 때까지는 다단 인플레이션 필름 성형에 대한 클로즈드 루프 제어의 적용은 불가능했다.

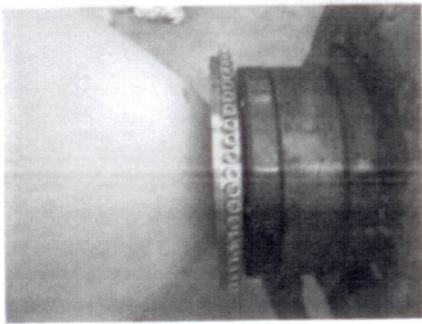
실제의 다단 인플레이션 성형 라인에서의 실험 결과, 필름 두께는 다이 출구 유로의 얼마 안되는 변화라도 큰 영향을 받는 것이 밝혀졌기 때문에, 수동 조절 볼트의 피치를 0.25mm로 하였다. 그러나 아무리 작은 조절 볼트를 쓰더라도 그 조정폭이 너무나 작아서 아래도 수동으로 제어할 수 있는 것은 아니었다. 즉, 치수 정밀도를 내기 위해서는 상당히 고도의 기능과 훈련을 필요로 한 것이다. 그래서, 우리는 출구 유로를 자동적으로 제어하는 새로운 플렉스링 다이를 설치하기로 하였다 (그림 11).

정밀한 자동 피드 기구를 사용하면, 200nm라는 미소한 변위를 정확하고 또한 우수한 재현성으로 제어할 수 있다. 현재, 생산 라인의 클로즈드 루프

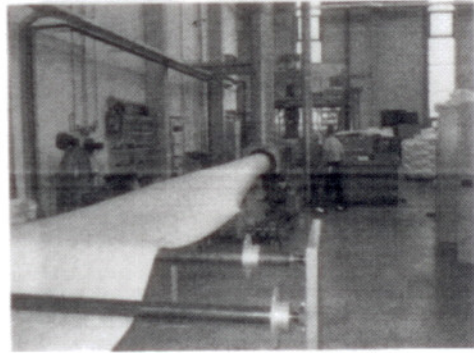
제어를 위해서 온라인 두께계와의 연후 제어 시스템 구축을 목표로 하고 있다.

당연한 일이지만, 플렉스링 다이 기술은 통상의 필름 성형 라인에도 적용할 수 있지만, 특히 공압출 필름에 대해서는 큰 메리트를 제공할 수 있다.

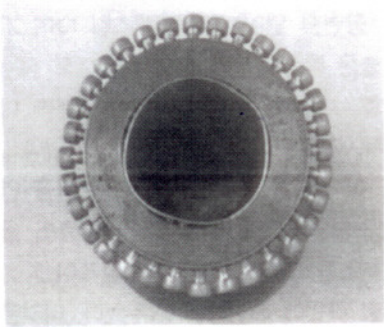
이 시도는 1KV의 플라스틱 가공 연구소에서 최초로 실시되어 3층의 플렉스링 다이를 이용한 인플레이션 성형 라인에서 성공을 거두었다. 이것은 내부층 주방향의 두께를 제어할 수 있도록 한 세계 최초의 3층 인플레이션 필름 성형 다이이다. 이 다이에서는 내부층의 유로를 그 합류점에서 정확히 조정할 수 있는 변형 자재인 가요성(可撓性) 격벽 구조를 채용하였다. (그림 12)에 이 다이의 플렉스링 디스크를 나타낸다. 이 다층 격벽판은 20장이며, 각각의 판두께는 약 0.2mm이다. 이 다이를 쓰면, 1층의 다이 출구에서도, 3층의 다이 내부에서도, 가요성(可撓性) 격벽판을 통하여 높은 정밀도로 두께 제어를 할 수 있다는 것이 밝혀졌다 5). 그것에 의해서 다층 인플레이션 성형에서도, 각 층의 필름 두께를 감도 좋게 조정할 수 있을 것으로 기대된다. 수동에서의 연구가 성공하였기 때문에, 1KV에서는 내부층을 클로즈드 루프 제어하는 시스템



(그림 13) 발포 폴리우레탄 시트를 성형하기 위한 플렉스링 다이 : 유로 형상을 고감도로 제어하기 위해서 출구 부근에 60개의 조정 볼트(M6)를 부착시키고 있다



(그림 14) 플렉스링 다이를 이용한 발포 시트의 성형 라인



(그림 15) 플렉스링의 변형 상태를 실증하기 위한 실험용 다이

템을 확립하기 위해서 우선 내부층 두께를 계측하는 연구 프로젝트를 발족시키게 되었다.

3. 발포 필름·시트 성형용 둥근 다이에 대한 적용

발포제 혼입 용융 수지를 발포 압출하는 것은, 통상의 압출성형 보다도 어렵다. 또한, 발포제를 용융 수지 내에 균일하게 혼합하는 것은 어려워져 발포제에 의한 용융 점도의 저하도, 프로세스상 또 다른 문제를 야기하는 요인이 되고 있다. 발포 압출에서는 일반적으로, 둥근 다이가 사용되지만, 다이 출구에서 약간의 두께 변동에 대

처할 수 있는 플렉스링 다이를 채용하면 더욱 제어하기 쉽게 되는 것은 명백하다. 사실, 플렉스링 다이를 사용하면 발포 필름이나 시트의 두께 차수 정밀도를 상당히 높일 수 있었다. <그림 13>에 외경 120mm의 다이에 플렉스링을 장비시킨 예를 게시한다. 정밀한 조정을 할 수 있도록 여기서는, 전주(全周)에 60개의 조정 볼트를 설치하고 있다. <그림 14>는 발포 PE 시트의 생산 라인을 나타낸 것이다.

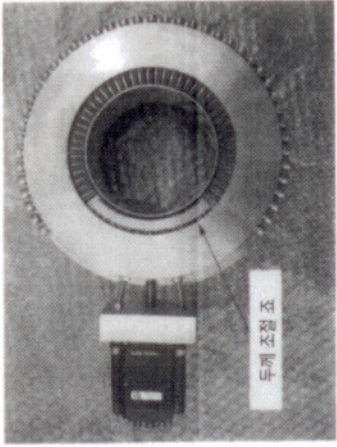
4. 압출 블로우 성형용 다이에 대한 적용

제품 대상이 다방면에 걸치는 압출 블로우 성형에 플렉스링 기술을 적용하기 위해서는 소형 블로우 성형품으로부터 대형 블로우 성형품에 달하는, 어떠한 커다란 다이에도 이 기술이 적합한 것이 전제가 된다. 그 주요 목적은 패리슨(parison)의 두께 조절을 보다 높은 정밀도로 하는 것이다. 그러기 위해서 다음과 같은 기본적인 요구 항목을 충족시켜야 한다.

· 유로 형상에 대한 설계의 자유도가 큰 것.

- 통상의 성형 압력에 견디는 것.
- 이 기술을 적용하더라도 새로운 파팅 라인이 발생하지 않는 것.
- 되도록이면 누설류를 야기하는 것 같은 부위가 없는 것.
- 유로 형상의 조정 중에 체류가 생기지 않는 것.
- 시스템은 부식 환경에 견디고 어떠한 다이에도 적용할 수 있는 것.
- 위치 결정 시스템은 단순하고, 또한 정확한 것.
- 위치 결정 속도가 큰 것.

판 용수철 구조를 변형시키기 위해서 플렉스링 슬리브의 곡률 부위의 길이는 대단히 짧게 끝나고, 다이 전주(全周) 등의 위치에서도 순수하게 탄성 변형시키는 것이 용이하다. 구경이 약 43mm의 플렉스링 다이의 예(그림 15)와 같이, 플렉스링을 쓰면 소성변형(塑性變形)을 야기하지 않고서 상당히 큰 탄성 변형을 끌어낼 수 있게 된다. 다이 저항은 유로 갭의 3승으로 커지기 때문에, 패리슨(parison)에서는 대단히 큰 국소적인 두께 변화가 생겨나게 된다. 더구나, 플렉스링 슬리브에서의 변형은 항상 점차적이기 때문에 체류부가 생기는 것 같은 유로의 급격한 변화를 야기하는 일은 없다.



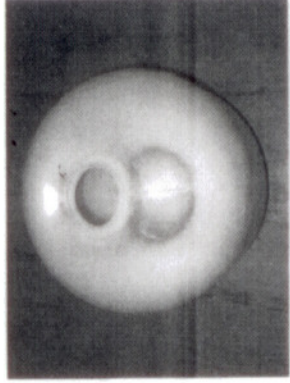
(그림 16) 기존의 정적인 두께 조절 기구를 가진 다이에 동적인 자동 조절 기구를 부속시킨 예

32개의 조절 볼트를 사용하면, 패리슨(parison)의 두께 제어 정밀도는 규준값보다 높아진다 (그림 15). 이것에 의해서 프로그래머블 두께 조정 기구(PWDS)로 최대 4개의 위치를 조정할 경우보다도 최종제품과의 대응이 양호하게 된다³⁾.

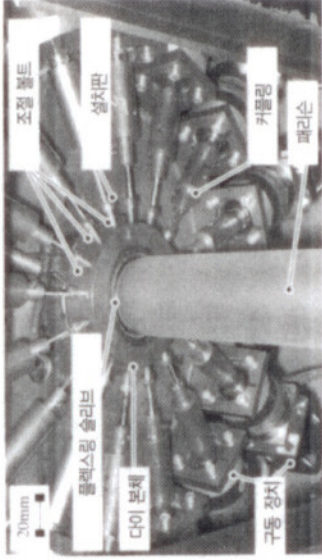
물론, 생산 라인에서 32개를 동적으로 조절할 필요는 없다. (그림 15)에 나타난 것은 실험용 모델이다. 이것에 의해서 신제품에 적합한 다이의 최적 유로 설계가 가능해진다. 패리슨(parison) 길이에 대응하여 최초에는 정적인 조정에 의해서 전주의 유로 형상의 개략을 정하고, 그 후는 성형하면서 최적값으로 조정해 가는 것이다.

4.1 실험 결과

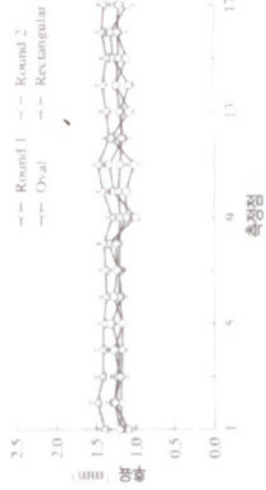
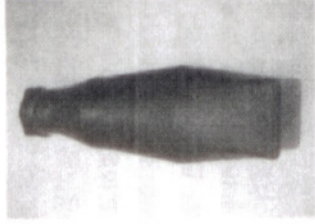
유로 조정이 정적으로밖에 대응할 수 없는 다이라도, 동적인 자동 제어 기구를 부가하는 것은 간단하다 (그림 16). 여기서는 현상의 조정 볼트를 부분적으로 떼어내고, 1축 방향의 위치 조정 모터를 부속시킨 자동 두께 조절 조를 설치하고 플렉스링 슬리브가 주 방향의 상당 부위에 대하여 국소적인 변형을 할 수 있도록 하였다. (그림 16)에서 나타난 두께 조절 조의 폭은 14개의 조절 볼트에 상당하지만, 두께



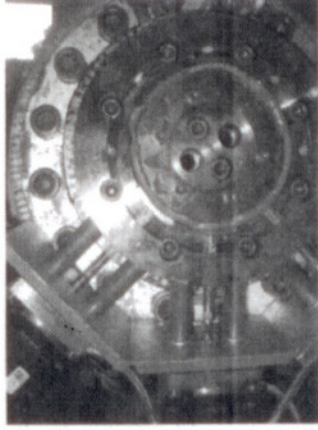
(그림 17) 극단적인 비축부를 가진 인출 블로우 성형용 예 : 유로를 부분적으로 좁혀보인 실험 예



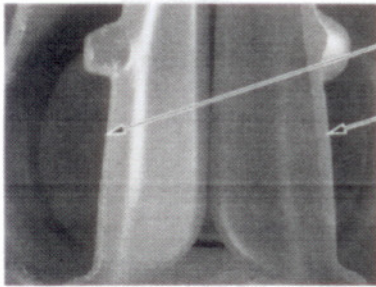
(그림 18) KV에 사용하고 있는 35mm의 플렉스링 다이 : 16개의 자동 조절 장치를 부속하고 있다*



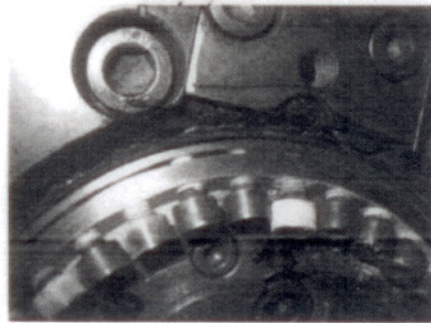
(그림 19) 슬리브의 최적 변형에서의 제척 분포 4)



(그림 20) 보비가 원구 성형용에 플렉스링 슬리브를 부가한 예 : 패리슨 (parison) 제척 분포의 동적인 제어가 가능해진다



〈그림 21〉 다이를 수정한 것에 의해서 제품 두께를 감소할 수 있던 예
: 제품 두께가 6mm에서 2.7mm로 감소하였다



〈그림 22〉 프로그래머블 두께 제어 기구(PWD)를 가진 플렉스링 맨드렐의
부분 사진 : 맨드렐의 최적 형상을 단시간에 조정할 수 있다

조절 조의 형상은 이것에 한정되는 것이 아니고, 각각의 제품에 대응하여 선택하면 좋다.

이 시스템에서는 움직이는 부위의 질량이 작기 때문에 극히 신속한 응답이 가능하다. 여기서는 패리슨(parison)이 형성되는 동안 액추에이터를 통하여 0.3초만에 유로를 폐쇄할 수 있다. 더구나, 이것을 기존의 블로우 성형으로는 불가능했던 제품의 부위에 대해서 행하고 그 결과를 〈그림 17〉에 나타낸다. 이와 같이, 플렉스링 다이를 사용하면 제품 두께를 극단적으로, 또한 신속하게 변화시킬 수 있다는 것을 일목요연하게 알 수 있을 것으로 생각한다. 두께부와 박육부와의 두께 변화를 이와 같이 신속하게 할 수 있는 시스템은 이 플렉스링 기술 뿐이다.

아헨 공과대학의 가공기술연구소(IKV)에서 플렉스링 다이의 연구가 2년간의 프로젝트로서 실시되었다. 여기서는 35mm의 구경(口徑) 다이에, 16개의 자동 피드 기구를 사용하고(그림 18), 더욱이 병의 형상을 여러 개의 구분에 나누고 있다(그림 19). 이 병의 두께는 구름부(R1), 어깨부(R2), 타원부(OVAL), 또 바닥부

(RECTANGULAR)의 구분으로 분리되고 있고, 각각에 다른 수치로 제어해야만 한다. 수동 제어에서는 〈그림 19〉에서 보는 것처럼 각 구분 모두 대단히 좋은 부피 분포의 병이 얻어졌지만, 자동 제어에서는 16개의 피드 기구 사이의 동기(同期)의 방법에 문제가 있어서 잘 제어할 수 없었다.

이 연구로 원칙적인 가능성은 확인할 수 있었다. 대칭 형상의 병을 제조하는 실제의 생산 라인이라면, 기존 4개의 자동 피드 기구에 의한 제어 시스템으로 충분하며, 피드 기구 사이의 동기(同期) 문제는 해결할 수 있다고 생각하고 있다. 최초의 실용화 예로서, 완구인 보비카의 성형 다이에 플렉스링 슬리브를 설치한 사례를 나타낸다. 여기서는 〈그림 20〉에서 보는 것처럼 아·제품 형상의 특수성에 대응하기 위해서 자동 피드 기구를 비대칭으로 배치하였다. 그 결과, 기존의 성형 다이를 이용한 경우에는 제품 바닥부의 두께를 필요 이상으로 크게 하지 않을 수 없지만, 이 기술을 이용한 경우에는 바닥부의 두께를 6mm에서 2.7mm로까지 감소시킬 수 있다(그림 21).

플렉스링 기술을 사용하면 적합한

맨드렐(Mandrel) 형상을 얻는 데 비용이 들지 않는다는 이점도 생겨나게 된다. 맨드렐 형상을 후가공하는 것은 시간적인 낭비가 많을 뿐만 아니라, 대단히 경험과 감을 요하는 기술이기도 하다. 수작업이나 불필요한 재료 소비 외에 가공 비용 부담도 크다. 〈그림 22〉에 나타내는 1축 방향 제어의 플렉스 맨드렐을 사용하면 운전개시 후에 간단히 형상을 최적화할 수 있게 되어, 앞서 말한 낭비를 생략할 수 있다. 더구나, 이 맨드렐 형상은 샷(shot)별로 조정할 수 있기 때문에 특정 개소의 두께를 지나치게 삭감하거나, 실패하면 처음부터 다시 시작해야만 하는 우려가 완전히 사라진다. 플렉스링 맨드렐을 사용하면 조절 볼트를 움직이는 것만으로 언제나 원래의 상태로 복귀시키는 것도 용이하다.

5. 플랫 필름·시트 성형용 다이에 대한 적용

20여년 전부터 필름·시트 다이에서는 가변 림으로써 감도가 좋은 두께 조정이 가능해졌다. 단, 시트 다이에서는 여전히 쇼크바를 통한 조정 기구