

# 퍼멀로이 실딩캔의 강성증대를 위한 헤밍공정 설계

조형근\*, 김동환(부산대 대학원), 이선봉(대우통신), 김병민(부산대 정밀정형 및 금형가공연구소)

## Hemming Process Design of the Permalloy Shielding Can for the Stiffness

H.K. Cho, D.H. Kim(Graduate School, UNV), S.B. Lee(Daewoo Telecom), B. M. Kim(ERC for NSDM, PNU)

### ABSTRACT

In the recent day, shielding can was made of permalloy materials for automobile display instrument. The good roundness has an effect on magnetic property such as the low coercivity and the high permeability. But the products having the roundness is transformed by the heat treatment, the sending to the company and the assembly process. So for the stiffness of the edge, it is necessary for hemming process to be added in the deep drawing process. And it has the good appearance to create a smooth edge rather than a razor edge with burr. In this paper, it is controlled to get the best hemming product by the Pre-hemming angle (105°, 120°, 135°). And Possible process and tool design modification, which may lead to quality improvement in hemming were tested experimentally and using FEM. The commercial finite element program PAM-STAMP™ was used to simulate the pre-hemming process and hemming process, and the predictions were compared with experimental result according to the pre-hemming angle.

**Key Words :** Permalloy(퍼멀로이), Pre-hemming(프리헤밍), Stiffness(강성), Roundness(진원도)

### 1. 서론

퍼멀로이 실딩 캔(Permalloy Shielding Can)부품은 자동차 수요의 증대와 더불어 대량으로 생산되고 있으며, 높은 정도의 부품을 제작하기 위하여 연구가 필요하다. 본 제품은 자동차용 계기판 중에서 연료계에 들어가며, 크로스 코일 무브먼트(Cross Coil Movement)에 전류를 제어하여 내장된 고무 자석(Rubber Magnet)을 회전시킴으로써 차량 정보를 지시하여 전달한다. 크로스 코일 무브먼트 연료계 구조는 Fig. 1 과 같다.

차량의 정확한 정보를 운전자에게 전달하기 위해서 퍼멀로이 실딩 캔 제품은 정밀한 진원도와 균일 두께분포를 가져야 한다. 그렇지 않으면 투자율이 낮아지고, 보자력이 높아져 연료계의 지시불량을 발생시킨다. 현재 수 개의 업체들이 퍼멀로이 실딩 캔을 디프 드로잉 공법으로 생산하지만, 판재의 이방성으로 인하여 진원을 얻기 어렵다.

퍼멀로이 실딩 캔은 자성 재료라는 특성 때문에 열처리 공정이 필요하다. 열처리의 목적은 온도, 시간, 가열 또는 냉각 속도, 분위기 등을 적당히 규제하여, 금속이나 합금의 내부에 재결정, 확산, 격자

또는 석출 변태를 일으켜 그 결과로 보다 유효한 자기 특성을 부여하는 것이다. 그러나 정밀한 진원을 가진 퍼멀로이 실딩 캔은 가공 후 열처리에 의해 변형을 받게 되며 진원을 얻을 수 없다. 따라서 제품 끝 단부에 강성이 요구되며, 열처리 비용절감을 위한 적층 시 퍼멀로이 부품의 끝 단에서 강성이 유지되어야 할 것이다.

판재 끝 단부에 강성을 부여하는 벤딩(Bending)방법은 헤밍(Hemming), 컬링(Curling), 와이어링(Wiring) 등이 있다.

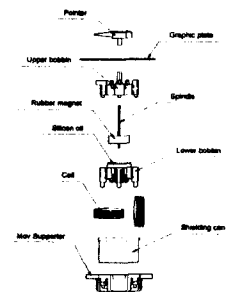


Fig. 1 The structure of cross coil movement of fuel gauge

Hishida 와 Sato 는 프리헤밍(Pre-hemming) 공정과 헤밍으로 나누는 공정에 관한 연구하였고, 헤밍결합에 관한 연구와 더불어 3 차원 탄소성 유한요소법을 이용하여 헤밍공정에 적용하였다[1]. Denis 는 두 가지 공정을 하나로 통합 성형하는 공정에 관해서 연구하였다[2]. Makinouchi 는 수치해석기법을 사용하여 판재성형에서 발생할 수 있는 결함을 예측하는 연구를 하였다 [3]. 이전의 연구에서는 정밀한 진원도를 얻기 위한 방안으로 이방성에 따라 예상되는 변형량을 저그러짐 정도만큼 편치형상을 타원형으로 하는 방법을 제안하였다[4].

본 연구에서는 헤밍가공 방법을 이용하여 열처리 공정에서 퍼멀로이 실딩 캔의 비틀림을 막고, 부품의 이송과정에서 치수변형을 방지하였다. 본 연구에서는 최적의 프리헤밍 공정을 설계하기 위하여 헤밍공정에서 나타나는 형상변화를 정량적으로 분석하고, 헤밍공정의 설계 시 나타나는 형상결합을 줄이고자 하였다. 헤밍공정은 공정설계, 금형설계, 헤밍결합, 분석적 연구 등의 관점에서 많은 연구가 이루어져 있으나 원통 프리헤밍 공정의 최적공정조건에 대한 연구는 미비한 상태이다.

## 2. 퍼멀로이 실딩 캔의 공정설계

### 2.1 퍼멀로이 제품의 기계적 특성

본 연구에서 사용된 퍼멀로이(SUPRA50B)의 기계적 특성을 파악하기 위해 압연 방향에 대해 0°, 45°, 90°의 각 방향으로 ASTM E-8 규격의 인장 시편을 제작하여 10ton 용량의 Instron 만능 시험기에 의해 10mm/min 의 일정한 속도로 인장 실험을 실시하였다. 가공경화지수 n 값은 Holloman 의 식,  $\sigma = K\epsilon^n$  를 이용하여 연신율 10%~20%사이에서 결정하였다. 여기서  $\sigma$  는 진응력,  $\epsilon$  는 소성변형률, K 는 소성계수이다. 한편 소성이방성 계수 R 은 연신율 15%에서 측정하였다.

퍼멀로이의 기계적 특성을 Table 1 에 나타내었다.

Table 1 Mechanical property of permalloy

Material	YS (MPa)	TS (MPa)	E (GPa)	EI (%)	Stress-Strain
Permalloy	298.79	664.85	125.85	23.6%	$\sigma = 1033.95(0.0131 + \epsilon)^{0.286}$

### 2.2 퍼멀로이 제품의 특성

퍼멀로이 실딩 캔의 부품도를 Fig.2 에 나타내었다. 부품의 설계규격은 Table 2 에 나타냈었다. 열처리 조건은 1100°C×25m/m×8Hr 이다.

Table 2 The specification of permalloy shielding can

Item	Requirement
Material	SUPRA50B-45%Ni
Thickness	0.3<0.03mm
General Tolerance	±0.15mm
Permittable Burr	0.05mm Max
Magnetic Properties(Hc)	0.1 A Max
No Visible Damage	Scratch, greasy stain, stain etc.
The Roundness	within 0.1 from "A" to "B"

Dimensions & Magnetic Properties to be Understood After Final Heat Treatment

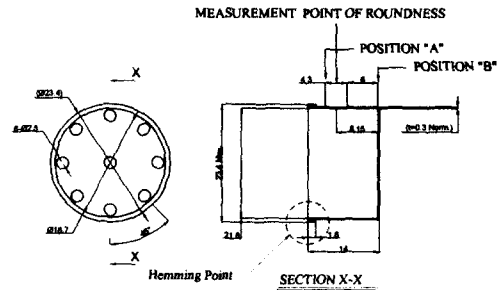


Fig.2 The drawing of permalloy shielding can

## 3. 원통 헤밍공정의 유한요소모델링

### 3.1 헤밍공정

헤밍공정의 단계는 일반적으로 급격한 소성변형을 방지하기 위하여 Fig.3 과 같이 밴딩, 프리헤밍, 헤밍으로 3 단계로 나눈다.

밴딩은 일반적으로 판재를 0°~ 90° 까지 구부리는 공정으로 정의되고, 프리헤밍은 헤밍의 전 단계공정으로 일반적으로 135°정도를 밴딩하는 것을 말한다. 그리고 헤밍은 180°나 그 이상을 밴딩하는 것을 말한다. 강건한 헤밍제품을 얻기 위해서는 Fig.4 와 같은 부가적 장치가 필요하다. 디프 드로잉공정에서는 밴딩 라인이 곡선인 것으로 평판을 플랜징(Flanging) 한 것과 같으며, 판재가 이방성에 따라서 압축과 연신을 동시에 받으므로 3 차원 거동으로 해석해야 된다.

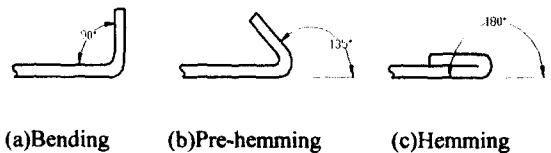


Fig.3 The stage of the hemming for sheet metal

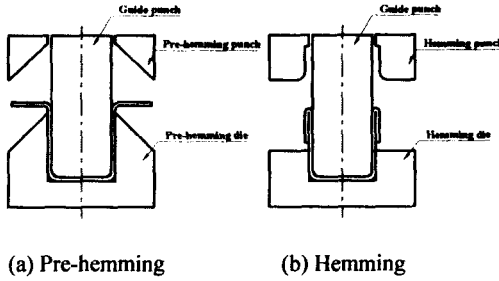


Fig.4 Construction of the hemming process

원통형 제품에 대한 프리헤밍의 효과는 예각으로 밴딩함과 동시에 프리헤밍 다이로 헤밍 할 부위에 높은 응력을 가해서 가공할 부위의 라운드 값을 적게 하고 소성변형을 주어 반듯하게 접을 수 있게 한다. 또한 밴딩 각도를 나누어 성형하여 급격한 소성변형을 줄일 수 있으므로, 되말림, 컵의 벽부분의 변형, 플랜지의 길이변화등의 형상결함을 최소화하여, 강건한 제품을 얻을 수 있다.

### 3.2 원통헤밍 공정에서의 결함

헤밍공정에서 나타나는 기본적인 결함들을 4 가지가 있다[5,6]. 그 변형형태는 Fig.5에 나타내었다.

- (1) 되말림(Hemming wind): 플랜지부를 라운드가 말려 들어가는 결함.
- (2) 헤밍 랩(Hemming wrap): 편치하중으로 인하여 컵의 벽부가 원주 외측으로 휘어지는 결함.
- (3) 헤밍길이(Hemming length): 플랜지부 길이가 늘어나는 결함.
- (4) 밀착도(Tightness): 플랜지부와 컵의 벽부 사이의 간격을 말하는 것으로 강성에 관계되는 결함.

### 3.3 공정변수

평판의 프리헤밍 공정에서 고려될 수 있는 변수로는 프리헤밍 편치의 이동방향과 이동거리가 있다[6]. 디프 드로잉제품에서는 일반적으로 클리어런스(Clearance)가 주 공정변수로 설정되지만, 프로그래시브(Progressive) 공정의 특성상 작업의 흐름을 원활히 하기 위하여 현장에서 사용하는 소재 두께의 113%로

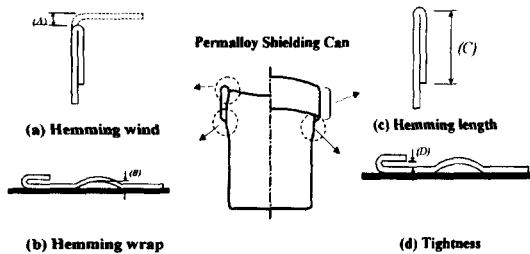
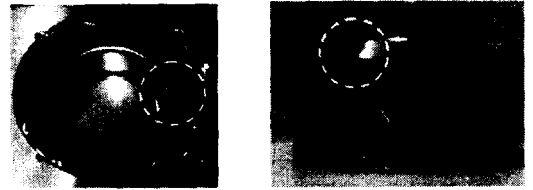


Fig.5 The kind of the forming defects according to the Hemming process

고정하였다. 그리고 플랜지의 길이는 Fig.2의 설계기준에서 헤밍길이를 1.6mm로 고정하였다.

기존의 평판 헤밍 공정에서는 프리헤밍 각도를 135°로 하고있다. 하지만 Fig.6의 부위에서 프로그래시브 공정특성상 프리헤밍 각도가 커지게 되면, 랜싱(Lancing)이 의의 부분에서 변형이 커지게 되어 금형의 끝 단 부분의 손상이 심해진다. 따라서 대량생산에서 퍼멀로이 실딩 캔의 높이가 낮아지고 프리헤밍 각도가 너무 작으면 소재의 어깨부 반경을 충분히 줄여주지 못하며, 소재의 찍어주기 효과도 줄어들게 된다. 따라서 최적의 헤밍공정을 설계하기 위해서 프리헤밍 각도를 주 변수로 설정하였다. 본 연구에서 주 변수의 범위는 105°, 120°, 135°로 설정하여 퍼멀로이 실딩 캔의 형상변화에 대한 경향성을 파악하였고, 정밀한 진원도를 얻을 수 있는 프리헤밍 각도를 찾고자 한다.



(a) The area out of lancing (b) The pre-hemming die

Fig.6 Permalloy shielding and pre-hemming die

## 4.결과 및 고찰

### 4.1 성형해석결과

본 연구에서는 탄소성 외연적 상용프로그램인 PAM-STAMP™을 사용하여 성형공정을 해석하였다.

격자는 4 점 쉘 요소(Shell Element)를 채택하였으며, 성형해석시간을 고려하여 1/4 단면만을 해석하였다. 본 연구에서 해석한 프리헤밍 및 헤밍 공정의 공정별 변형형태는 Fig.7과 같다. Fig.8에는 프리헤밍 각도에 따른 결함 측정부위를 나타내었다.

#### 4.1.1 되말림

헤밍 공정시 소재의 되말림 현상을 나타낸다. 일반적인 직선부 헤밍의 경우 소재 되말림 양을 고려하여 절단선을 설정하고 있다. 프리헤밍 각도를 달리하여 성형해석한 결과, 소재의 되말림은 프리헤밍 각도가 105°가 높게 나타났고, 135°가 가장 낮게 나타났다. 즉, 프리헤밍 각도가 커질수록 되말림은 더욱 많아진다. 본 결과는 프리헤밍 각도가 105°일 경우 소재의 어깨부 반경값이 적어서 헤밍라인을 따라 찍어주기 효과가 적었고 어깨부 반경값을 충분히 줄이지 못하여 나타난 것이다.

Table 3 The result of the simulation and experiment

Angle(°)	Roundness(mm)		Hemming-wrap(mm)		Hemming-wind(mm)	
	Simulation	Experiment	Simulation	Experiment	Simulation	Experiment
105	-	0.056	0.0384	0.0333	0.33235	0.25
120	-	0.0468	0.05275	0.0417	0.36529	0.2
135	-	0.0585	0.05885	0.05	0.48415	0.16
Angle(°)	Tightness(mm)		Hemming-length(mm)			
	Simulation	Experiment	Simulation	Experiment	-	-
105	0.66955	0.7989	1.70234	1.6875	-	-
120	0.6263	0.7982	1.66416	1.6875	-	-
135	0.6125	0.7894	1.6939	1.6625	-	-

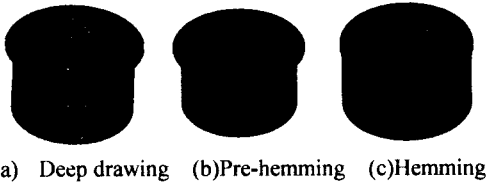


Fig.7 The mesh of the permalloy shielding can

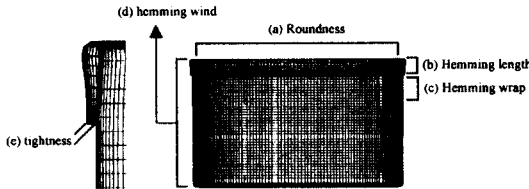


Fig.8 The measure point of the deflection

4.1.2 헤밍 랩

헤밍시 펀치하중에 의해 소재의 벽 부분이 변형되는 것을 말하며, 적을수록 보다 강건한 제품이다. 프리헤밍 각도에 따른 헤밍 랩을 해석결과는 105°에서 작게 나타났으며, 프리헤밍 각도가 135°에서 가장 크게 나타났다. 그 양은 선형적으로 증가하였다.

4.1.3 헤밍길이

플랜지 길이가 성형 중 초기 플랜지 길이보다 늘어 나는 것을 말하며, 플랜지 길이의 변형량이 적을수록 강건한 제품생산에 유리하다. 초기소재의 길이 1.6mm 이다. 플랜지 길이에 대한 해석결과는 120°에서 가장 작게 나타났으며, 105°, 135°에서는 거의 비슷하게 나타났다. 하지만 프리헤밍 각도에 따른 플랜지 길이의 변화는 차이값이 비슷하게 나타났다.

4.1.4 밀착도

소재 끝단의 밀착도를 나타내며, 적을수록 소재의 벽 부분과 플랜지의 끝 단이 근접하여, 밀착성이 향상된다. 성형해석 결과에서 헤밍 형태는 헤밍되는 부분이 물방울 모양으로 둥글게 말리는 Tear-drop

hem 의 형태로 나타났다. 프래헤밍 각도에 따른 성형해석의 결과는 105°에서 가장 크게 나타났으며, 135°에서 작게 나타났다. 따라서 프리헤밍 각도가 커질수록 밀착도는 증가한다.

4.2 실험결과 및 비교

상기의 성형해석 결과를 바탕으로 프리헤밍 각도를 105°, 120°, 135°로 하여 실험을 하였다.

퍼멀로이 실딩 캔의 진원은 형상에 대한 다점 측정이 가능한 Smart Scope Fov 장비로 하였다. 장비는 Fig.9 과 같다. Fig.10 에서 나타나듯이 퍼멀로이 실딩 캔의 진원은 프리헤밍 각도가 30°인 경우가 가장 낮게 나타났다. 성형해석에서는 진원도 값을 측정하지 못하여서 실험값만 나타내었다.

Fig.11 에서는 되말림결함에 대하여 성형해석결과와 실험결과를 비교하였다. 성형해석에서는 프리헤밍 각도가 증가함에 따라 되말림은 증가하는 반면, 실험결과에서는 프리헤밍 각도가 증가함에 따라 올 보였다. 이것은 제품 끝 단의 절점 수가 충분하지 못하여 절점의 밴딩효과가 충분하지 못한 것 같다.

Fig.12 에서는 헤밍 랩결함에 대하여 비교하였다. 실험결과는 성형해석결과와 같이 프리헤밍 각도가 증가함에 따라 소재 벽부의 변형량이 증가하였다.

Fig.13 에서는 헤밍길이에 대하여 비교하였다. 실험결과는 프리헤밍 각도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

Fig.14 에서는 밀착도에 대하여 비교하였다. 시험결과에서도 성형해석 결과와 마찬가지로 프리헤밍 각도가 증가함에 따라 밀착성이 향상되었다.

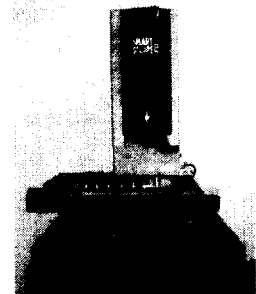


Fig.9 Smart Scope Fov for roundness

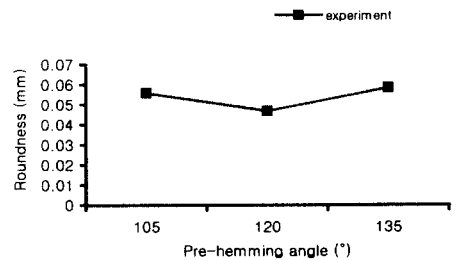


Fig.10 Roundness and pre-hemming angle

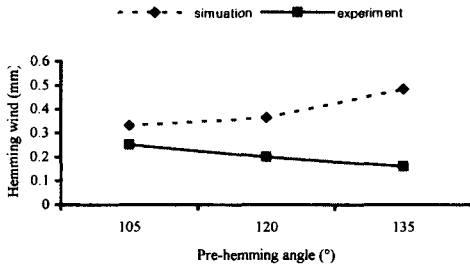


Fig. 11 Hemming wind and pre-hemming angle

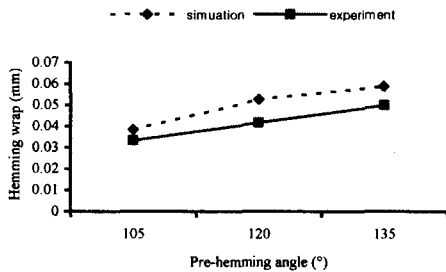


Fig. 12 Hemming wrap and Pre-Hemming angle

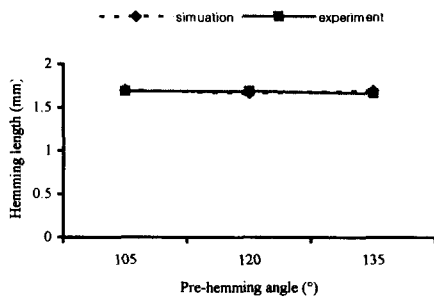


Fig. 13 Hemming length and pre-hemming angle

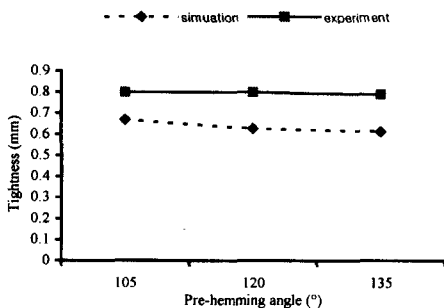


Fig. 14 Tightness and pre-hemming angle

## 5. 결론

본 연구는 퍼멀로이 실딩 캔의 강성향상 및 진원도 유지에 위하여 헤밍공정을 설계하기 위하여 헤밍 공정에서 발생 가능한 성형결함의 종류와 그 정도를 예측, 비교, 분석하여 최적의 프리헤밍 각도범위를

예측하여보았다. 각 조건별 성형결과는 각 절점의 변위를 측정하여 거동을 정량적으로 실험결과와 비교하였으며, 그 결과 성형해석과 실험은 유사한 경향을 나타내었다. 성형해석과 실험에서 알 수 있듯이 여러 가지 결함들이 프리헤밍 각도에 따라 양립적으로 나타났다. 본 연구의 목적은 진원도를 유지하면서 제품 끝 단의 강성을 유지하는 것이 가장 중요하다. 따라서 제품 끝 단부를 완전히 밀착시키면서, 벽 부분의 변형량과 제품 깊이 감소를 최소로 하며, 가장 우수한 진원도를 얻을 수 있는 프리헤밍 각도는 30°가 좋은 경향을 나타냄을 알 수 있었다. 이상의 성형해석 및 실험결과를 요약하면 아래와 같다.

- (1) 프리헤밍 각도가 클수록 헤밍 랩의 양은 커지고, 밀착도는 좋아진다.
- (2) 프리헤밍 각도가 클수록 헤밍길이, 되말림의 양은 작아진다.
- (3) 프리헤밍 각도가 30°에서 진원도 값이 우수하였다.

## 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Hishida. Y, and Sato. Y, "Analysis of Hemming Processes by the Finite Element Method for Improving Hemming Quality," Processing of the 14<sup>th</sup> Biennial Congress of IDDRG, Koln, 1986
2. St.Denis.L, "Hemming Machine and Method," USA Patent No:5,150,508, 1991
3. Makinouchi.A, Nakamachi.E, Onate.E, and Wanger.R.H," Numerical Simulation of 3-d Sheet Metal forming Processes Verification of Simulation with Experiment," Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Conference of NUMISHEET, 1993
4. 김동환, 조형근, 이선봉, 김병민, "자동차 계기판용 퍼멀로이 실딩 캔의 성형해석 및 공정설계", 대한기계학회 춘계학술대회, 부산, 2000
5. Attila Muderrisoglu<sup>a</sup>, Makoto Murata<sup>b</sup>, Mustafa A.Ahmetoglu<sup>a</sup>, Gary Kinzel<sup>c</sup>, Taylan Altan<sup>a</sup>, "Bending, flanging, and Hemming of aluminum sheet-an experimental study," Journal of Material Processing Technology, Vol. 59, pp. 10-17, 1996
6. H.Livatyali<sup>a</sup>, A.Muderrisoglu<sup>b</sup>, M.A.Ahmetoglu<sup>b</sup>, N.Akgerman<sup>b</sup>, G.L.Kinzel<sup>b</sup>, T.Altan<sup>b</sup>, "Improvement of hem quality by optimizing flanging and pre-Hemming operations using computer aided die design," Journal of Material Processing Technology, Vol. 98, pp. 41-52, 2000