

칩브레이커 형상변수에 의한 칩유동각 예측

김동현*, 박승근**, 김경우**

The Prediction of Chip Flow Angle on Chip Breaker Shape Parameters

Dong-Hyun Kim*, Seung-Geun Park**, Kyong-Woo Kim**

Abstract

In machining with cutting tool inserts having complex chip groove shape, the flow, curl and breaking patterns of the chip are different than in flat-face type inserts. In the present work, an effort is made to understand the three basic phenomena occurring in a chip since its formation in machining with groove type and pattern type inserts. These are the initial chip flow, the subsequent development of up and side curl and the final chip breaking due to the development of torsional and bending stresses. In this paper, chip flow angle in a groove type and pattern type insert is analyzed based on a force ratio method, involving the feed and radial forces in flat-face type, groove type and pattern type inserts. The expression for chip flow angle in groove type and pattern type inserts is also verified experimentally using high speed filming techniques.

Key Words : Chip Flow Angle (칩 유동각), Groove Type Insert (홈형 인서트), Pattern Type Insert (3차원형 인서트), Force Ratio (절삭력 비), High Speed Filming Technique (고속촬영 기법)

Nomenclature

d : Depth of cut(mm) F_A : Axial force(N)
 F_R : Radial force(N) i : Rake angle
 K_2 : Experimental constant K_s : Material constant
 r : Nose radius
 η : Chip flow angle of flat-face type insert
 η_s : Chip flow angle of pattern and groove type insert

1. 서론

오늘날 산업의 급속한 발전은 기계가공에서 자동화와 무인화를 요구하고 있다. 금속 절삭가공에서 현재의 연구 동향은 자동화 무인화 된 가공에서 금속제거율(MRR)을 향상시키는 방법에 대하여 연구가 수행되고 있다. 유용한 칩 생성과 절단을 위한 칩제어(chip control)는 기계가공에서 매우 중요한 변수로 취급되고 있다. 왜냐하면, 칩제어

* 원광대학교 기계공학부
 ** 원광대학교 대학원 기계공학과

는 표면 거칠기, 공작물의 정밀도와 칩 생성의 과정에서 공구수명에 상당한 영향을 주기 때문이고, 또한 칩제어는 무인 자동화 생산 시스템에서 절삭공구와 공작물에 큰 영향을 미치게 되기 때문이다.

원활한 칩제어를 위한 연구는 최근까지 다양한 방법으로 시도되어 왔다. 최근까지 연구 결과 다양한 공작물의 재질과 절삭조건 등을 고려할 때 공구의 적절한 설계를 통하여 칩제어를 하는 것이 가장 바람직한 방법으로 추천되었다. 공구설계는 새로운 공구재료와 코팅방법에 의하여 공구와 공작물의 상호작용과 마찰의 감소로 인한 공구 강성의 증가와 공구마모를 중요한 변수로 하여 발전하였고, 칩형상과 칩절단에 관련된 기초적인 학문적 이론의 부족에도 불구하고 시행 착오법에 의하여 칩브레이커 형상의 연구가 계속되었다.⁽¹⁾

최근 절삭공구 기술의 발전으로 수많은 칩브레이커 형상이 개발되었다. 그러나 현재의 칩브레이커 설계와 개발은 주로 시행착오법과 관찰을 근거로 하여 방만하고 임의적이며 체계적이지 못한 실험으로 행하고 있다. 이로 인하여 바람직한 칩브레이커를 생산하기까지는 많은 시간과 비용이 요구되고 있다. 그래서 칩형상과 형상을 예측하는 것은 공구의 칩브레이커 설계에 대한 이론적인 접근으로서 바람직한 칩브레이커 형상을 설계하는데 소요되는 시간의 단축과 비용의 절감을 기대할 수 있다.

칩이 발생할 때 발생하는 칩유동(chip flow), 칩컬링(chip curling)과 칩절단(chip breaking) 과정의 특성을 이용하여 칩제어를 연구하고 있다. Jawahir와 Luttrervelt⁽²⁾는 최근의 칩제어에 대한 전반적인 연구동향에 대하여 설명하였다. 유용한 칩절단과 효과적인 칩처리를 위하여 절삭가공시 발생하는 칩에 적당한 굽힘과 인장응력이 발생하여야 효과적인 칩제어가 가능하다고 연구하였다.⁽³⁾

본 연구에서는 절삭가공 시 발생하는 굽힘과 인장응력에 의하여 발생하는 칩의 3가지 형상인 칩유동, 칩컬링과 칩절단 형상 중 처음으로 발생하는 칩유동에 관하여 연구를 실시하였다. 3차원 절삭가공에서 마름모 형상의 인서트에 칩브레이커 형상으로 홈형과 3차원형이 있는 인서트를 사용하여 절삭가공 시 발생하는 칩유동에 대한 반실험적인 방정식을 이용하여 예측하였고, 고속촬영 기법을 이용하여 칩유동을 분석하여 비교평가 하였다.

2. 칩유동 이론

절삭가공 시 발생하는 칩발생의 기본적인 형상으로

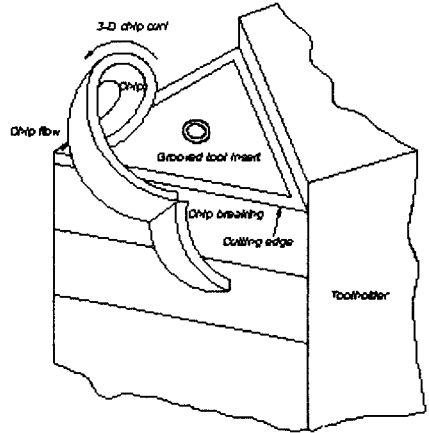


Fig. 1 Schematic diagram of a chip showing flow, curl and breaking characteristics

Fig. 1과 같이 칩유동, 칩컬링과 칩절단이 있으며 상호 밀접한 관계로 칩제어에 영향을 주고 있다. 지금까지의 연구는 칩제어를 위한 칩의 기본적인 형상에 관한 많은 연구가 진행되었으나, 대부분의 경우 2차원 직교 절삭에 대하여 연구하였다.

Colwell⁽⁴⁾은 절삭축에 수직한 공구의 절삭면으로 칩유동이 발생하는 것에 관하여 연구하였다. 이 연구는 예리한 공구뿐만 아니라 노즈반경이 있는 공구에도 적용할 수 있었다. 그는 칩유동 방향에 이송과 절삭력 중 이송분력의 중요성을 인식하여 방정식을 해석 전개하였다.

Stabler⁽⁵⁾는 칩유동 방향의 합력은 두 절인끝의 속도성분의 벡터합을 이용하여 구할 수 있는 칩흐름법칙을 연구하였다.

Spaans⁽⁶⁾는 Colwell의 칩유동각 측정방법이 칩유동각을 과대 평가하는 것을 발견하였다. 그는 부절인각이 있는 공구로 선삭가공할 때 칩유동각을 예측하기 위한 경험식을 유도하였다.

Nakayama⁽⁷⁾는 절삭가공 시 발생하는 포괄적인 칩의 형상을 분류하였다. 넓은 범위의 절삭조건에서 칩형상을 논리적으로 표현하기 위하여 가능한 모든 칩형상을 분류하였으며, 칩형상에 공구 형상이나 칩브레이커가 절삭조건에 따라 영향을 준다는 것에 관하여 연구하였다. 그는 절삭가공 시 발생하는 칩형상을 사이드 컬링(side curling)과 업 컬링(up curling)의 양과 음의 부호를 이용하여 표현하였고, 칩유동각에 관하여 연구하였다.

Jiang와 Zhang⁽⁸⁾는 칩유동각이 칩제어에 미치는 영향에

관하여 연구하였다. 실험을 통하여 6개의 중요한 변수에 의한 칩유동각의 변화를 설명하였고, 이러한 변화가 칩제어에 미치는 영향에 관하여 연구하였다.

Jawahir⁹⁾는 인서트에 홈형 칩브레이커 형상을 변화시켜 절삭가공 시 칩의 제어에 관하여 연구하였다. 또한, 고속촬영 기법을 이용하여 다양한 실험조건에서 칩의 발생을 촬영하여 칩제어를 실험 연구하였다.

3. 칩유동각 예측

칩제어에서 효과적인 칩절단을 예측하기 위한 칩유동각 예측은 중요한 변수이다. 칩유동각은 절삭가공 시 소성영역에서 칩유동 특성과 칩절단 과정에 큰 영향을 발생하기 때문에 많은 연구자들이 칩유동각을 예측하기 위하여 많은 연구를 수행하였다.

Fig. 2에는 3차원형 칩브레이커가 있는 인서트로 절삭가공할 때 절입깊이에 따른 칩유동각의 변화를 나타내고 있다. 절입깊이가 작을 경우 사이드 쿨(side curl)이 주로 발생하지만 절입깊이가 큰 경우 방해물(bump)의 영향에 의하여 사이드쿨(side curl)과 업컬(up curl)이 혼합된 형태의 칩유동이 발생한다. 또한 이때의 칩유동각을 나타내고 있다.

본 연구에서는 Spaans가 제시한 칩브레이커가 없고, 노즈반경과 절입이 있는 인서트를 사용할 때의 칩유동각 모델을 사용하였다. 경사각과 절삭인 경사각이 0인 공구의 칩유동각은 식 (1)과 같이 표현하였다.

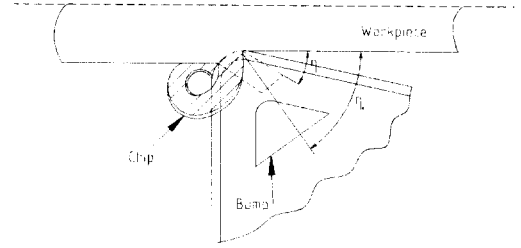
$$\eta = 33.3\left(\frac{r}{d}\right) + 3.3 \quad (1)$$

또한, 절삭인 경사각이 0이 아닌 3차원 절삭가공인 경우에는 식 (2)와 같이 표현하였다.

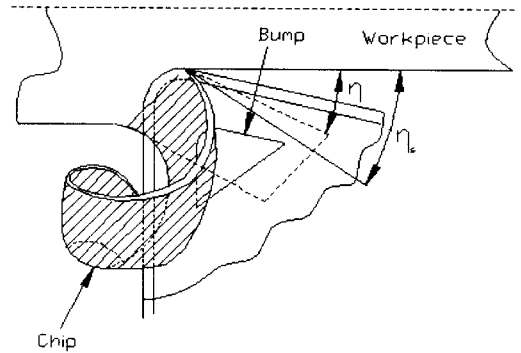
$$\eta = 33.3\left(\frac{r}{d}\right) + 3.3 + K_s i \quad (2)$$

칩브레이커가 있는 인서트로 절삭가공 시 발생하는 칩유동각은 칩브레이커가 없는 경우와는 다른 형상을 나타낸다. 칩브레이커가 있는 인서트의 절삭가공 시 칩유동각은 칩유동 방향에 중요한 변수인 이송분력과 배분력을 이용하여 표현할 수 있다. 이때 변수로 사용되는 절삭력비(force ratio)는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$FR(\text{force ratio}) = \frac{F_A}{F_R} \quad (3)$$



(a) Small depth of cut



(b) Large depth of cut

Fig. 2 Schematic diagram of chip flow for changer in depth of cut

칩브레이커가 있는 인서트로 절삭가공 시 칩유동각은 절삭력비와 공구의 칩브레이커 형상과 실험조건을 범위를 고려한 실험상수인 K_2 를 도입하여 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\eta_s = \eta + \left[\frac{FR_{\text{flat-faced}}}{FR_{\text{breaker}}} \right] \left(\frac{K_2}{d} \right) \quad (4)$$

4. 칩유동 실험

3차원 절삭가공 실험을 통하여 칩유동각을 예측하기 위하여 선반을 이용하여 외경선삭을 행하였다. Fig. 3과 같이 절삭가공 실험에서 Kistler사의 공구동력계를 이용하여 절삭력을 측정하였고, 고속 촬영기법을 이용하여 가공시작 후 정상적인 칩이 발생할 때를 촬영하여 칩유동각을 측정하였다. 이때 발생하는 칩을 수거하여 분석 고찰하였다.

절삭가공 실험에는 각각의 조건에 현재 산업현장에서 사용되고 있는 선삭 인서트 5개를 사용하였다. 실험에 사

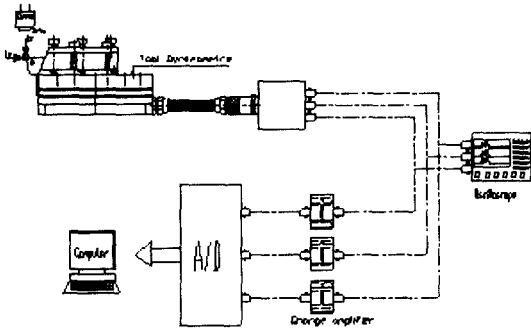


Fig. 3 Schematic diagram of experimental setup

Table 1 Specification of the chip breaker, tool holder and workpiece

Tool insert	CNMG 120408
Chip breaker	flat-face, P20, B25, RT and GM type
Tool holder	PCLNR2525 - M12
Workpiece	SM45C

Table 2 Experimental conditions

Cutting speed	130 m/min
Feed	0.097, 0.15, 0.195, 0.24 and 0.3 mm/rev
Depths of cut	0.3, 0.6, 0.9, 1.2 and 1.5 mm

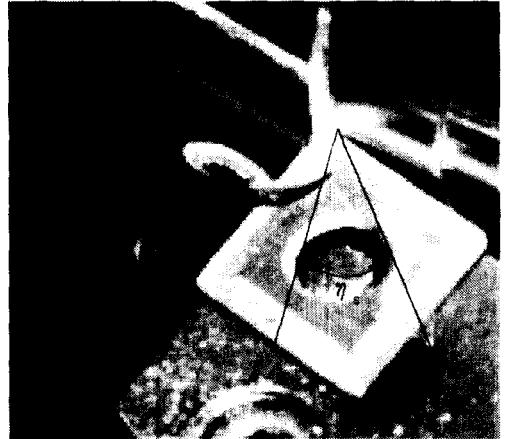
용된 공구와 공작물은 Table 1에 표시하였고, 절삭조건은 Table 2에 표시하였다.

5. 결과 및 고찰

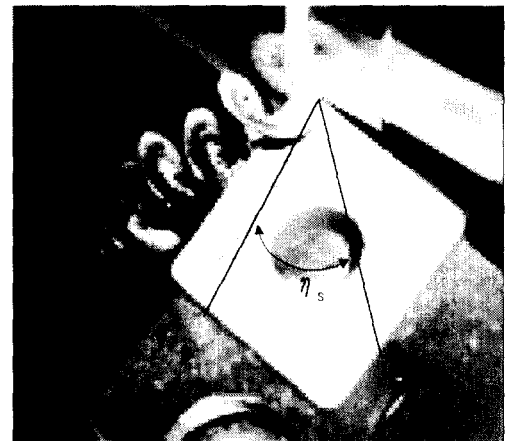
칩유동각 예측 모델을 선정하기 위하여 각각의 절삭조건에 칩브레이커가 없는 인서트와 칩브레이커가 있는 인서트를 사용하여 절삭실험을 실시하였다. 절삭가공 실험 시작 후 정상적인 칩이 발생할 때 고속촬영 기법을 이용하여 사진을 촬영하였다. 이 사진들을 IVP-150 비전 보드 (vision board)의 프로그램을 이용하여 칩유동각을 측정하였다.

Fig. 4는 절삭가공 실험 시 고속촬영 기법을 이용하여 얻어진 칩의 발생 순간을 촬영한 사진이다.

Fig. 5는 실험에 사용된 5가지 형상의 인서트를 이용하여 이송이 0.195mm/rev에서 각각의 절입깊이에 의한 칩



(a) P20 insert, $d=0.9\text{mm}$, $f=0.195\text{mm/rev}$



(b) RT insert, $d=1.2\text{mm}$, $f=0.3\text{mm/rev}$

Fig. 4 Measurement of the chip flow angles

유동각의 변화를 나타내고 있다. 이 결과 칩브레이커가 있는 인서트의 칩유동각이 칩브레이커 없는 인서트의 칩유동각 보다 비교적 크게 발생하였다. 다른 가공조건의 경우에서도 이와 유사한 결과를 나타냈다.

Fig. 6은 각각의 인서트에 대하여 이송이 0.3mm/rev에서 각각의 절입깊이에 대한 예측과 측정된 칩유동각을 나타내고 있다. 모든 인서트의 경우에서 예측 모델에 의한 칩유동각이 실제로 측정된 칩유동각과 약 $\pm 5\%$ 이내의 오차가 발생하였지만 비교적 잘 일치하는 결과를 나타내었다. 다른 가공조건에서의 경우에서도 이와 유사한 결과를 나타냈다.

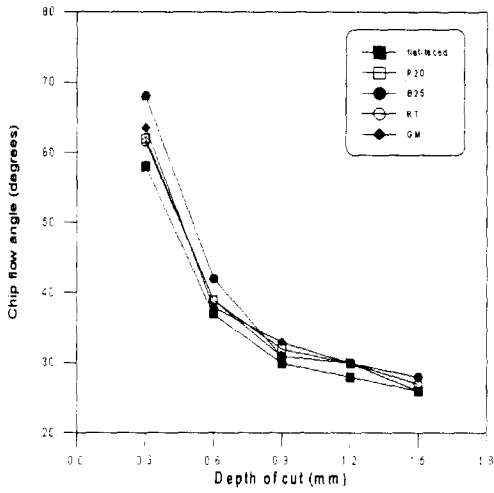


Fig. 5 Comparison of measured chip flow angles ($f=0.195\text{mm/rev}$)

절삭가공 시 발생하는 칩유동각은 이송의 변화에 의한 변동은 극히 작게 발생하였으나, 절입깊이의 영향에 의해서 큰 변동을 발생하였다. 절입깊이에 의한 유동각의 변동에서 절입깊이가 노즈반경보다 작은 경우인 0.3과 0.6mm의 경우 비교적 큰 유동각을 발생하였으며 유동각도 절입깊이에 따라 큰 폭으로 변동하였으나, 절입깊이가 노즈반경보다 큰 경우인 0.9, 1.2와 1.5mm의 경우 비교적 작은 유동각이 발생하였고 절입깊이에 따라 칩유동각의 변동이 비교적 작게 발생하였다.

본 연구에서는 칩브레이커가 없는 인서트에 대한 칩유동각 예측모델로 Spaans가 제안한 칩유동각 방정식을 이용하였고, 칩브레이커가 있는 인서트의 칩유동각은 칩유동에 영향을 주는 이송분력과 배분력을 이용한 절삭력 비를 이용한 반-실험적인 방정식을 이용하여 예측하였다. 예측모델에 의한 결과와 고속촬영 기법을 이용하여 측정된 칩유동각의 결과가 거의 일치하여 예측모델의 우수함을 확인할 수 있었다.

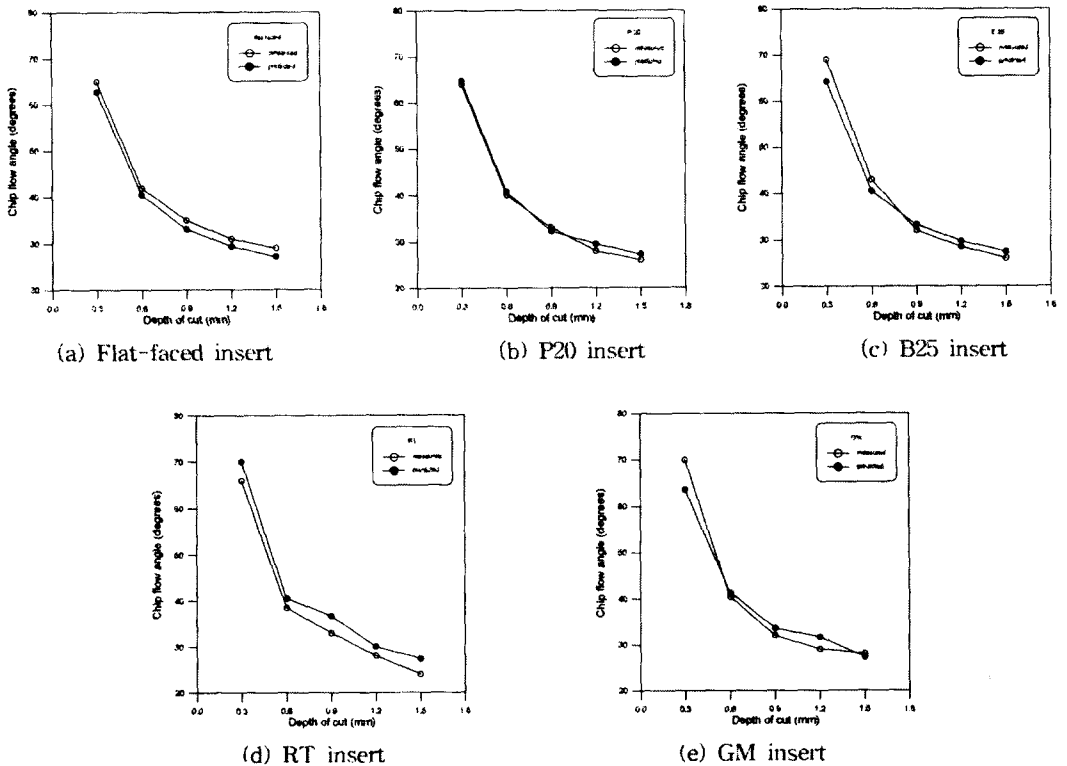


Fig. 6 Chip flow angle for variation of depth of cut ($f=0.3\text{mm/rev}$)

5. 결 론

본 연구에서는 마름모 형상의 칩브레이커가 없는 인서트, 홈형 칩브레이커를 있는 인서트와 3차원형 칩브레이커가 있는 인서트를 사용하여 각각의 절삭조건에 대하여 3차원 절삭가공 모델을 이용한 칩유동각을 예측하였고, 절삭가공 실험 시 고속촬영 기법을 이용하여 칩유동각을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 예측모델에 의한 칩유동각은 고속촬영 기법을 이용하여 측정한 실제의 칩유동각과 거의 일치하였다.
- (2) 칩유동각의 변화는 이송변화에 의한 영향은 극히 작은 반면, 절입깊이의 변화에 대하여는 큰 변동을 나타냈다.
- (3) 칩유동각은 절입깊이가 노즈반경보다 작은 경우에는 절입깊이에 따른 칩유동각의 변화가 크게 발생하였다. 노즈반경보다 큰 경우에는 절입깊이에 따른 칩유동각의 변화가 작게 발생하였다.

따라서, 절삭가공 시 발생하는 칩유동각 예측에 대한 연구를 칩 발생의 기본적인 현상인 칩킬링과 칩절단의 연구로 확대하여 인서트의 설계단계에 적용하면 설계시간의 단축과 비용의 절감과 함께 신뢰할 수 있는 인서트의 설계가 가능할 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 1999년도 원광대학교 교비 일반과제 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- (1) 김동현, 채왕석, 김우순, "트럭용 커넥팅 로드 소재의 내부 품질에 따른 기계적 특성 연구", 한국공작기계학회, 제7권 제1호, pp. 75-81, 1998
- (2) I. S. Jawahir and C. A. van Luttervelt, "Recent Developments in Chip Control Research and Applications", Annals of the CIRP, Vol. 42/2, pp. 659-693, 1993
- (3) W. Klufft, W. Konig, C. A. van Luttervelt, K. Nakayama and A. J. Pekelharing, "Present Knowledge of Chip Control", Annals of the CIRP, Vol. 28/2, pp. 441-455, 1979
- (4) L. V. Colwell, "Predicting the Angle of Chip Flow for Single Point Cutting Tools", Trans. ASME, 76, pp. 199-204, 1954
- (5) G. V. Stabler, "The Chip Flow Law and its Consequences", Proc. 5th Int. MTDR Conf., pp. 243-251, 1964
- (6) S. Spaans, "The Fundamentals of Three-Dimensional Chip-Curl, Chip Breaking and Chip Control" Ph. D Paper, 1971
- (7) K. Nakayama, "Comprehensive Chip Form Classification Based on the Cutting Mechanism", Annals of the CIRP, Vol. 41/1, pp. 71-74, 1992
- (8) C. Y. Jiang and Y. Z. Zhang, "Experimental Research of the Chip Flow Direction and its Application to the Chip Control", Annals of the CIRP, Vol. 33/1, pp. 47-51, 1984
- (9) I. S. Jawahir, "On the Controllability of Chip Breaking Cycles and Modes of Chip Breaking in Metal Machining", Annals of the CIRP, Vol. 39/1, pp. 47-51, 1990