

외측 회전형 심구형 유도전동기의 특성

안병원^{*} · 박영산^{*} · 노영오^{*} · 배철오^{**}

^{*}목포해양대학교 · ^{**}한국해양대학교 대학원

The characteristics of deep slot outside rotor type IM

B.W Ahn^{*} · Y.O Roh^{*} · Y.S Park^{*} · C.O Bae^{**}

^{*}Mokpo Maritime University · ^{**}Korea Maritime University

E-mail : ds4cibt@mail.mmu.ac.kr

요 약

팬의 동력원으로 사용되고 있는 일반전동기는 설치 시 팬의 전동기 부분이 돌출되어 송풍량을 제한 한다든지 곡관을 설치해야하는 문제점이 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위한 새로운 형식의 축류팬용 유도전동기를 개발하여 특성을 파악하였다. 이 유도전동기는 기존전동기와는 달리 내측이 전기자인 고정자이고 외측이 회전자로 구성되어 있다.

ABSTRACT

This paper presents a developed squirrel cage induction motor for axial flow fan. Nearly all of the induction motors for fan consists of two parts, rotor and stator, and the position of rotor is located inside of stator. This construction restricts the air flow rate, otherwise requires bending duct. But developed squirrel cage induction motor for axial flow fan exchanged the position each other. So, we can reduce the weight and size about 30%, and there are no bending duct to locate the fan motor.

1. 연구배경 및 목적

근래에 들어서 산업용 및 공조용 팬의 사용이 급증하고 있다. 산업용은 각종 기계의 냉각용, 먼지 및 기름방울 포집용, 건조용 등의 물류 수송용으로, 공조용은 냉난방, 공기청정기 등 실내공조 시설의 공기순환용으로 이용한다. 산업용 팬의 경우 고속화, 대용량화 등으로 인하여 발생소음이 커지고 있는 반면 작업자들의 정숙한 작업환경에 대한 요구는 점점 더 증대하고 있다. 공조용기기의 경우 쾌적한 실내온도, 청정한 공기를 공급하기 위한 기능뿐만 아니라 소음을 최소화한 조용한 운전이 요구되어진다. 이러한 이유로 팬의 소음방지대책은 필수적인 요소로 대두되고 있다. 한편 팬에 사용되는 유도전동기는 산업현장에서 많이 사용되는 품목으로 품목별 전력 소비율이 가장 큰 제품이다. 따라서 유도전동기의 효율 향상은 국가 전체의 전력소비량의 감소로 직결되는 중요한 문제이다. 이 효율의 향상을 위해 많은 연구와 노력이 기울여지고 있다.

지금까지는 주로 산업용 및 공조용 축류 팬으

로 농형유도전동기를 사용하여 왔으나, 이러한 일반 전동기를 사용함으로써 팬의 전동기 부분이 돌출 되어 송풍량을 제한한다든지 곡관을 설치해야하는 문제점을 가지게 된다. 또한 유도전동기의 설계 시에는 전동기의 효율과 내구성 그리고 소형경량화가 중요한 요소로 지적되어 왔다.

따라서 동력원인 전동기의 위치는 축류팬의 성능에 큰 영향을 주는 요소로서 이에 대한 연구가 요구됨에 따라 축류팬용으로 사용될 유도전동기의 개발이 요구되어지고 있다.

기존의 외측 전기자에 의해서 내측 회전자 구동방식의 팬과 새로운 방식의 내측 전기자에 의해 외측 회전자 구동방식의 팬의 비교분석을 통해서 주로 축류형 팬 소음 발생원인, 전동기의 효율, 내구성, 경량 소형화에 관해서 연구 개발하고자 한다. 현재 사용되고 있는 전동기는 회전자가 축으로 연결되어 팬을 돌리는 회전력을 공급하지만 본 논문에서 개발하고자 하는 방식은 전기자를 축으로 하여 고정하고 외측 회전자에 날개를 부착하는 방식이다. 이 방식은 관이나 덕트내에 팬을 설치할 수 있으므로 관이나 덕트를 구부릴

필요가 없고 비 등에 의한 방수 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 산업용 및 공기조화용 축류형 팬의 동력원으로 사용될 새로운 축류팬용 유도전동기를 개발하여 외측 회전형 유도전동기에 대한 기술을 확보하고 이에 관련된 기술적인 토대를 마련하고자 한다.

II. 설계된 3상 유도전동기의 구조

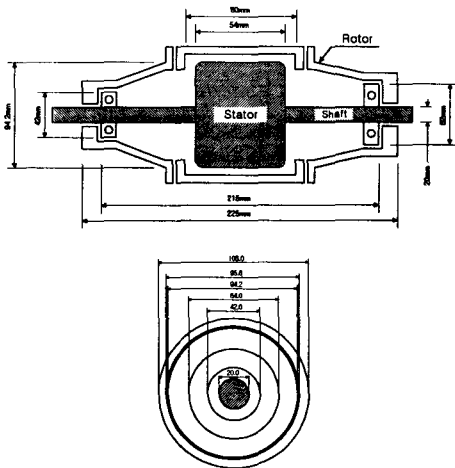


그림 2-1 개발된 축류팬용 유도전동기 준법
Fig. 2-1 Dimension of developed IM for axial flow fan

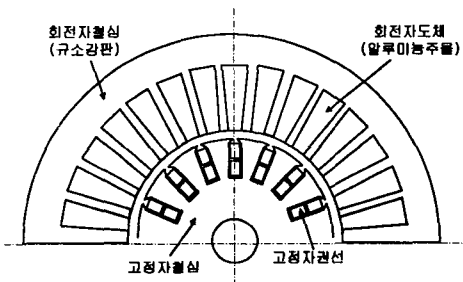


그림 2-2 설계된 심구형 유도전동기의 구조
Fig. 2-2 The structure of deep slot type IM

설계된 축류팬용 3상 유도전동기의 전체적인 준법은 그림 2-1과 같다.

3상 유도 전동기에서는 3상 권선에 의해 회전자계를 만든다. 보통, 전원에 접속되는 3상 권선은 고정된 철심 속에 감겨진다. 이 고정 부분을 고정자(stator)라 하는데 본 과제에서는 일반 유도전동기의 회전자를 고정자로 사용하여 바깥부분이 회전하도록 하였다. 그림 2-2는 설계된 유도전동기의 고정자 및 회전자 단면을 나타낸다. 고정

자는 철심속의 자속이 시간과 함께 변하므로 두께 0.35mm의 규소강판을 겹쳐 쌓아서 고정자 철심을 만들었다.

회전자 철심도 규소강판을 겹쳐 쌓아서 만든다. 슬롯속에 알루미늄도체를 다이캐스트해서 양단을 원형의 단락환(end ring)으로 단락한 농형회전자로 설계하였다. 슬롯속의 도체 깊이는 기동시의 높은 토크특성을 얻기위하여 큰 디프슬롯 농형회전자(deep slot squirrel-cage rotor)로 설계하여 2중농형특성을 갖도록 하였다.

2-1 디프슬롯 농형 유도전동기

디프슬롯 농형회전자의 슬롯 모양은 그림 2-3(a)에 나타내는 바와 같이 슬롯속의 폭에 비해서 깊이가 깊게 되어 있으며 디프 슬롯의 효과를 크게 하기 위해서 그림 2-3(a)와 같이 고정자 쪽 도체를 좁게 하였다. 그림 2-3(b)는 2차권선(회전자의 등가회로로써 저항과 코일로 나타낼 수 있다.

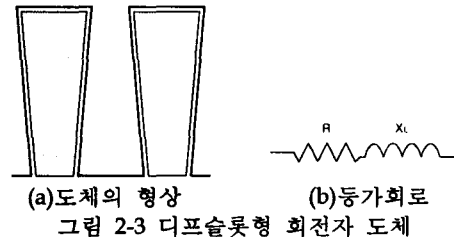


그림 2-3 디프슬롯형 회전자 도체
Fig. 2-3 The winding of deep slot squirrel cage rotor

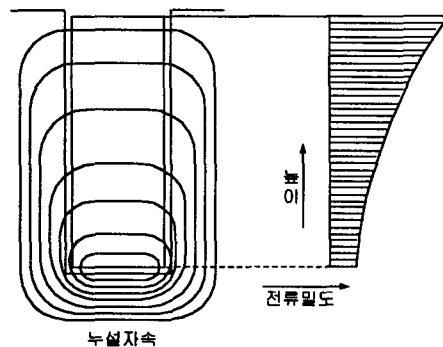


그림 2-4 디프 슬롯형 도체속의 전류 분포
Fig. 2-4 Leakage flux at deep slot type winding

슬롯에 들어가는 도체는 저항이 작은 균일한 도체이다. 도체에 전류가 흘렀을 때의 누설자속은 그림 2-4와 같게 되어 도체의 하부 쪽일수록 많은 누설자속과 쇄교하므로 하부 쪽의 누설 리액턴스 수가 크다. 따라서, 기동 시에는 회전자와 고정자

간에 상대속도가 크기 때문에 회전자 주파수가 높다. 따라서 그림 2-3(b)의 2차권선의 등가회로에서 X_L 보다는 저항성분 쪽의 상부도체에 많은 전류가 흐르고, 코일성분이 많은 하부에는 적게 흐르게 된다. 운전 중에는 고정자와 회전자의 속도차가 거의 나지 않으므로 회전자의 주파수가 낮아 상부코일이 굵은 쪽의 저항이 적기 때문에 굵은 쪽으로 흐른다.

직사각형 슬롯의 경우, 그림 2-5에 나타내는 바와 같이 슬롯의 폭을 $b[m]$, 도체의 폭을 $a[m]$, 도체의 높이를 $h_1[m]$, 도체의 저항률을 $\rho[\Omega/m]$, 슬롯속의 도체, 절연물 등의 투자율을 $\mu[H/m]$, 철심의 투자율을 ∞ , $\omega = 2\pi sf$ 라 한다.

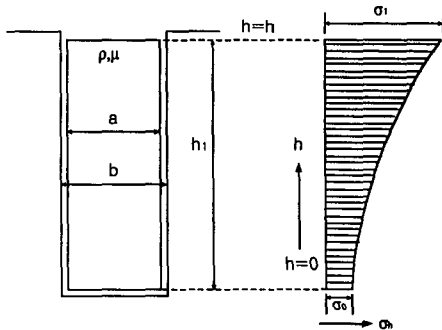


그림 2-5 디프 슬롯형 도체 속의 전류 밀도
Fig. 2-5 Current density at deep slot type winding

$$\alpha = \sqrt{\frac{2\pi\mu wa}{b\rho}} = 2\pi\sqrt{\frac{\mu fsa}{b\rho}}$$

$$\nu = (1+j)\alpha$$

라 놓고 도체속의 전류밀도 σ_h 는 도체 밑면부 ($h=0$)의 전류밀도 σ_0 또는 정상부($h=h_1$)의 전류밀도 σ_1 을 기준으로 취해 다음 식으로 나타낸다.

$$\sigma_h = \sigma_0 \cosh \nu [A/m^2]$$

$$\sigma_h = \frac{\sigma_1}{\cosh h_1 \nu} \cosh \nu h [A/m^2]$$

$sf=0$ 일 때의 직류저항을 r_0 , 이 때의 직류 인덕턴스를 L_0 라 하고 sf 에 있어서의 교류 실효 저항을 r_s , 교류실효 인덕턴스 L_s 라하면

$$K_r = \frac{r_s}{r_0} = ah_1 \frac{\sinh 2ah_1 + \sin 2ah_1}{\cosh 2ah_1 - \cos 2ah_1}$$

$$K_L = \frac{L_s}{L_0} = \frac{3}{2ah_1} \cdot \frac{\sinh 2ah_1 - \sin 2ah_1}{\cosh 2ah_1 - \cos 2ah_1}$$

로 저항, 인덕턴스의 주파수에 의한 변화를 나타낸다.

디프슬롯 농형 유도 전동기의 토크T, 1차전류 I_1 의 슬립에 대한 특성은 2중농형의 특성과 거의

같게 나타난다.

2-2 재료실험

표 2-1은 고정자와 회전자의 규소강판을 재료실험 한 결과이다. 철이 약 93%, 규소가 약 3.5%, 탄소가 약 1.5% 정도로 주를 이루고 있다.

표 2-1 규소강판의 재료시험 결과
단위 : [%]

재료	함량	재료	함량
Fe	92.860	Cu	0.810
Si	3.520	P	0.330
C	1.540	Ni	0.250
Mn	0.410	Mo	0.160
Cr	0.095	W	0.060
S	0.510	Sn	0.036

2-3 설계 제작된 축류팬용 유도전동기

그림 2-6은 설계 개발된 고정자축을 보이고 있다. 고정자는 일반 전동기의 회전자에 해당하는 부분으로 성층철심을 적층하고 이곳에 슬롯을 내어 권선을 감은 것으로 본 논문에서는 고정자 축전기자가 된다.

그림 2-7은 설계 개발된 회전자로 일반전동기의 고정자에 해당하는 부분으로 여기에서는 사각의 슬롯을 만들어 디프슬롯으로 하여 알루미늄을 다이캐스팅 하였고 팬의 익(날개)를 설치하여 직접 회전하게 할 수 있도록 설계되어 있다.

그림 2-8은 외측에 팬의 날개를 달아 완전한 한 세트의 팬의 형태를 갖추고 있다. 그림2-9는 개발된 팬을 덕트내에 설치하여 개발된 전동기의 성능분석을 하기 위한 실험장치세트를 보여주고 있다.

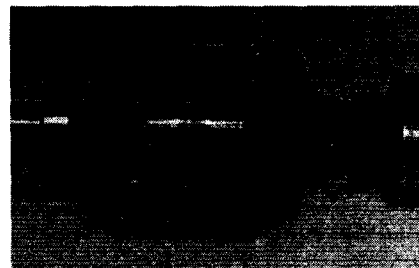


그림 2-6 시작된 축류팬용 유도전동기의 고정자
Fig. 2-6 Constructed stator of IM for axial flow fan



그림 2-7 시작된 유도전동기의 회전자
Fig.2-7 Constructed rotor of IM for axial flow fan



그림 2-8 시작된 유도전동기와 팬의 결합
Fig. 2-8 Constructed IM and fan

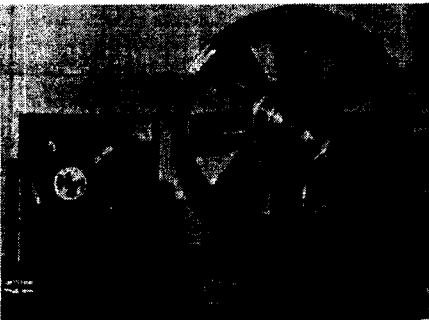


그림 2-9 성능분석 실험장치
Fig. 2-9 Experimental apparatus for functional analysis

III. 전동기 성능시험

3-1 전압변동에 따른 운전특성

그림 3-1, 그림 3-2는 전압이 변함에 따라 달라지는 전동기의 전력, rpm 그리고 전류특성을 나타낸 것이다. 그림 3-1은 전압이 210V 정격전압에 도달할 때까지의 부하 시와 무부하 시에 rpm 변동특성과 전력의 변화추이를 나타낸 그래프이고,

그림 3-2는 부하와 무부하 시에 전압이 정격에 도달할 때까지의 전류특성을 나타내고 있다.

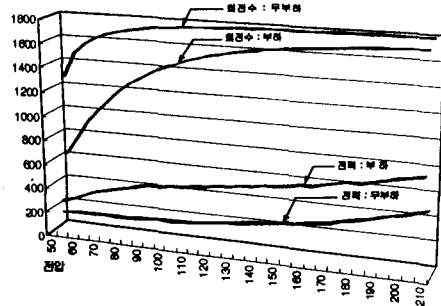


그림 3-1 부하/무부하 시 전압 및 rpm 특성
Fig. 3-1 Power and rpm characteristics at load/no load

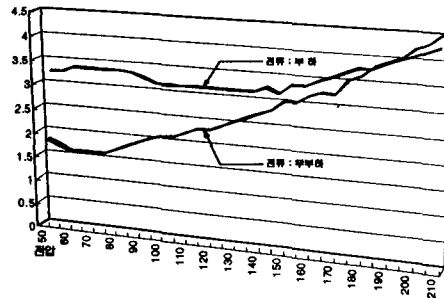


그림 3-2 부하와 무부하 운전 시 전류특성
Fig. 3-2 Characteristics of current at load / no load

3-2 성능시험

본 연구에서 개발된 축류팬용 농형유도전동기를 그림 2-9의 성능실험장치를 이용하여 측정하는 것이다.

그림 3-3~그림 3-10은 전동기를 정격 rpm으로 운전 중에 브레이크를 걸어 속도가 "0"으로 될 때까지의 특성곡선을 나타낸 그래프이다. 왼쪽의 횡축을 3상 220V를 인가하여 실험한 결과이고, 오른쪽의 종축은 120V를 인가하여 얻은 실험결과이다.

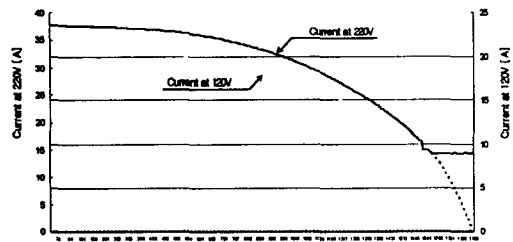


그림 3-3 시작된 전동기의 전류특성
Fig. 3-3 Characteristics of current

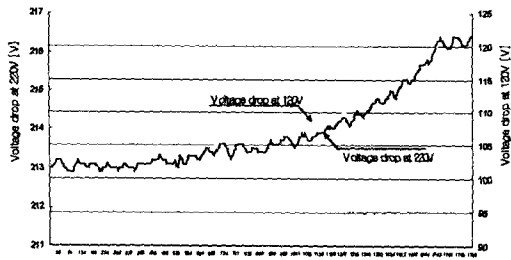


그림 3-4 시작된 전동기의 전압특성
Fig. 3-4 Characteristics of voltage

그림 3-3은 120V와 220V로 각각 운전을 하다가 정격속도에서 회전자 축에 브레이크를 걸어 rpm이 감소함에 따라서 변화하는 전류특성을 보여주고 있다. 처음에는 관성력이 큼으로써 전류변화가 거의 없다가 서서히 증가해감을 알 수 있다. 위쪽 그래프가 220V, 아래쪽이 120V때의 특성이다. 이론상 그래프는 점선과 같이 되어야 하나 회전 rotor와 여자전류에 의해서 동기속도 부근에서 "0"으로 되지 않고 일정한 값으로 유지되는 것으로 생각된다.

그림 3-4는 구속시험 시 전압의 변화를 살펴본 그래프이다. 120V/220V 일정전압을 걸었다가 브레이크가 걸리면서 전원장치의 내부저항에 의해서 전압강하를 일으키는데 220V일 때 더 많은 전압강하가 일어나는 것은 토크를 내기 위해 더 많은 전류가 소모됨에 의한 것으로, 진동적인 특성을 나타내는 것은 시험 시 동력의 전달이 고무벨트에 의하여 이루어 졌기 때문인 것으로 판단된다.

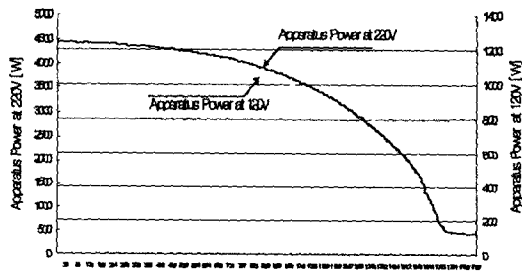


그림 3-5 시작된 전동기의 전력특성
Fig. 3-5 Characteristics of power

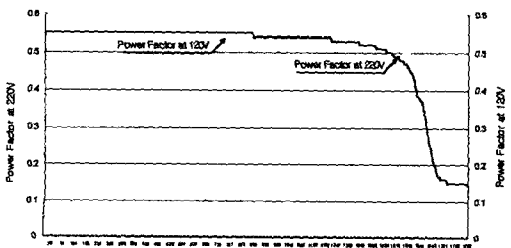


그림 3-6 시작된 전동기의 역률
Fig. 3-6 Characteristics of power factor

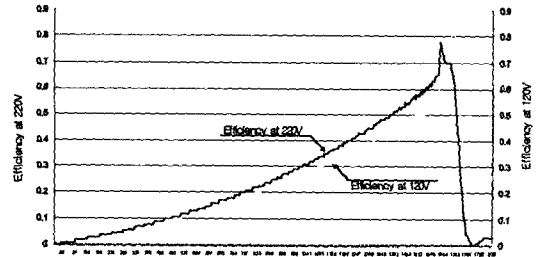


그림 3-7 시작된 전동기의 효율
Fig. 3-7 Efficiency of constructed IM

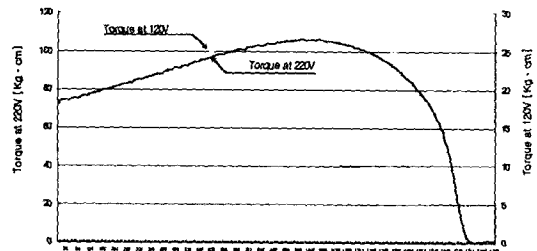


그림 3-8 시작된 전동기의 토크특성
Fig. 3-8 Characteristics of torque

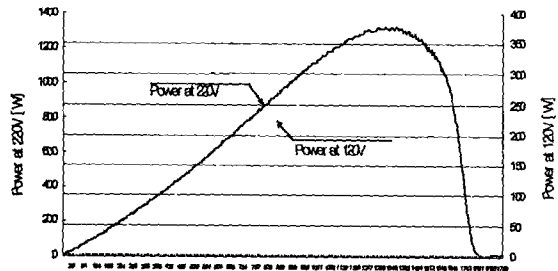


그림 3-9 시작된 전동기의 출력특성
Fig. 3-9 Characteristics of output

그림 3-5는 120V/220V 정격rpm으로 운전을 하다가 브레이크 동작에 의한 전력의 변화를 나타낸 것으로 전류특성과 비슷함을 알 수 있다.

그림 3-6은 구속시험 시 역률을 나타낸 것으로 약 0.55정도임을 알 수 있으며 PWM(Pulse Width Modulation)인버터 운전을 행한다면 역률을 높일 수 있을 것으로 생각되며 이것은 다음의 과제로 남긴다.

그림 3-7은 효율을 나타낸 그래프로 최고효율이 약 0.78정도로 나타났으며 실험장치의 고무벨트 특성 때문에 처음 시작부분과 최고치 부분에서 약간의 오차가 있으리라 생각된다.

그림 3-8은 구속시험 시 토크의 변동 특성을 나타내고 있다. 저속역 즉 구속력으로 인한 슬립의 증가 시에 특히 큰 토크특성을 나타내는 디프 슬롯형 전동기의 특성을 잘 보여주고 있다.

그림 3-9는 구속시험 시 출력의 특성을 나타내고 있다.

IV. 결론

현재 대부분의 축류팬용 유도전동기는 바깥부분을 고정자로, 안쪽부분을 회전자로 사용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 이들의 역할을 바꾸어 안쪽부분이 고정자가 되고 바깥쪽부분이 회전자로 하여 회전자의 외측에 팬의 날개를 부착할 수 있도록 하였다. 전체적으로 소형경량화 함으로써 팬의 설치나 소음, 방수문제 등에 유리한 전동기를 개발하고 그 특성을 분석하였다.

1. 회전자 도체는 규소강판(silicon steel plate)를 겹쳐 쌓아서 만든 원통형이며 내부에 회전자가 들어갈 수 있도록 원형으로 비어 있으며, 내측에서 외측 부분 방향으로 디프슬롯을 만들고 이 속에 알루미늄 도체를 다이캐스팅 하였다. 회전기에 사용되는 규소강판은 규소함유량이 1.0~3.5%, 두께가 0.35[mm]의 것을 사용하였다.
2. 안쪽부분의 회전자도 규소강판을 겹쳐 쌓아서 만들었으며 여기에 홈을 파고 계자전류(exciting current)를 흘릴 수 있도록 하였다.
3. 기동토크는 120V에서 21Kg.cm이고 220V에서는 82Kg.cm를 낼 수 있었으며 고속 시는 2차 저항이 적은 농형으로 운전되는 특성을 갖고 있다.
4. 역률은 약 0.55 정도이며, 효율은 0.78 정도의 특성을 나타내었다.

참고문헌

- [1] 고두석, 안병원, "전기공학", 효성출판사, p.187~227, 1998.
- [2] 金起俊, "現代電氣機器", 성안당, p.197~247, 1994.
- [3] 竹內壽太郎, 磯部直吉, "新版 電氣器機設計學", オーム社, p.201~206, 1996.
- [4] Paul C. Krause, "Analysis of electric machinery", p.164~209, 1986,