

구조용 압연강재와 스테인리스 강재의 MIG 용접에 대한 기계적 특성연구

임종영*, 윤명진**, 김상윤***, 김태규#

(* 경일대학교 대학원 기계공학과, ** 경일대학교 기계자동차공학부, *** 부산대학교
나노융합기술학과, # 부산대학교 나노메카트로닉스공학과)

Characteristic study of mechanical properties of Structural rolled steel and Stainless steel for MIG welding

J. Y. Lim*, M. J. Yoon**, S. Y. Kim***, T. G. Kim#

(Received 31 December 2013; received in revised form 5 February 2014; accepted 18 February 2014)

ABSTRACT

It is well known that fatigue failures occur on welded structures in industrial application due to repetitive load force. In order to decrease the incidence of fatigue failure, we analyzed the mechanical properties based on structural aspects in rolled steel(SS 400) welded onto stainless steel (STS 304) by the MIG welding method as well as the structure of rolled steel welded onto itself. We compared the hardness, tensile and fatigue properties with two types of samples which had no defects on the welding parts as observed by X-ray topographic analysis. It was found that the tensile and fatigue strength levels of SS 400 welded onto STS 304 by the MIG welding method were higher than those of STS 304 welded onto itself.

Key words : MIG welding(MIG 용접), X-ray(X선), Tensile and Fatigue Strength(인장강도와 피로강도), Rolled and Stainless Steel(구조용 강과 스테인리스강)

1. 서 론

* Department of Mechanical Engineering, Kyungil University

** Department of Mechanical and Automotive Engineering,
Kyungil University

***Department of Nano Fusion Technology, Pusan National
University

Corresponding Author :

Department of Nanomechatronics Engineering, Pusan
National University

E-mail : tgkim@pusan.ac.kr

산업현장에서 많이 사용되는 구조물이나 기계장치는 내구성 증가나 체결방법 등의 사용목적에 따라서 특정부위를 이종재료로 체결하여 사용하는 경우가 많아지고 있다. 특히 강도나 기밀성을 유지하기 위해서는 용접방법을 사용한다. 그 중 일반구조용 압연강재(SS 400)와 스테인리스강(STS 304)재의 이종재료 간의 접합은 많이 적용되는 재료이다. 이종재료 간의 용접접합은 용접성과 접합강도 및 내구성이 중요한 요소이다. 이종재료간의 용접에서는 어떤 용접을 하는 것이 더 효율적이고 강도상 안전한 것인지

를 선택하는 것이 매우 중요하다.

보통 SS 400 소재는 연강재질의 기계적 물성을 가지고 있으며 용접성이 좋고, 값이 싸고 가공하기 쉬워서 현장에서 흔히 많이 사용되는 재료이다. 기계 장치의 구조물 프레임이나 케이스, 배관 이음부 등에 흔히 사용되는 소재이다.

또한 STS 304는 오스테나이트계 스테인리스강 소재로서 현장에서 가장 넓게 사용하는 대표적인 강종소재이다. 뛰어난 내식성, 내열성, 저온강도를 가지고 있으며, 기계적 성질도 양호하다. 가공성이 좋고 열처리 시 경화가 되지 않으며, 자성은 없다. 가정용 식기, 건축자재, 화학공업, 각종 의료기구, 선박용 부품, 각종 저온기기 등에 많이 사용되는 소재이다.[1~4]

한편, 기계가공이나 플랜트 배관 등의 구조물을 가진 생산시설에는 대부분 강한 진동이나 소음이 일어난다. 이런 시설에 유체나 미세한 가루들이 이동하면서 배관의 벽면과 마찰이 일어나게 되고, 특히 유체의 방향이 바뀌는 엘보우 부위에는 유체의 강한 마찰로 인하여 구멍이 생기는 경우가 발생하게 된다. 이런 엘보우 부위의 수명을 연장하기 위해서는 일반강재보다 내마모성이 우수한 재질로 대처하는 경우가 많다. 이러한 특정부위는 스테인리스강재를 사용하는 경우가 대부분이며, 기존의 직선부분은 일반강재를 사용하게 되는데 이 두 가지 재질이 만나는 이종재료 용접부위에서는 국부적으로 단시간에 가열, 냉각되기 때문에 용접부에서 변형, 수축이 발생되며, 용접부에 잔류 응력이 남아있어 균열 발생 및 전파로 인한 파괴가 발생하기 쉽다.[5,6]

용접접합으로 많이 사용되는 비활성가스 금속 아크용접(Metal Inert Gas Arc Welding; MIG)법은 텅스텐 비활성 아크용접(Tungsten Inert Gas welding; TIG)법과는 달리 용가금속 자신이 소모 전극이 되어 와이어의 선단과 모재사이의 비활성 분위기에서 아크가 발생되어 전극자신이 용착하여 용접하는 작업방법이다.[7] 이 용접법은 대기 중에서 용접이 불가능한 티타늄, 지르코늄 등의 용접에 많이 사용되고 알루미늄, 마그네슘 및 스테인리스

강의 중·후판 용접에도 흔히 사용하고 있다

따라서 본 연구에서는 SS 400 소재와 STS 304 소재의 이종재료 간 용접접합에서 자동용접이 용이한 MIG 용접법을 적용하여 용접 시 발생하는 결함을 분석하고, 이종재료 간 용접부의 경도변화를 조사하였으며 정적인장시험과 피로강도시험을 실시하고 피로파면에 대하여 조사하였다.

2. 시험재료 및 시험방법

2-1 시험재료

MIG 용접 시 사용한 SS 400 소재와 STS 304 소재 및 용접봉 소재인 SW-316 와이어 소재에 대한 화학적 조성 및 기계적 물성은 Table 1과 Table 2와 같다.

MIG 용접으로 연강과 스테인리스강을 용접하여, 비교할 수 있도록 하였다. 용접재의 두께는 6mm의 평판을 사용하였고, 구속된 상태에서 자동 용접하여 만들었다. 용접형태는 Fig. 1과 같이 V형 맞대기 아래보기 용접을 하여 재현성을 갖도록 하였다.

Table 1 Chemical composition of SS400, STS304 and SW-316 (wt.%)

	C	Si	Mn	P	S
SS400	-	-	-	0.05	0.05
STS304	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030
SW-316	0.03	0.70	1.2	0.025	0.010

Table 2 Mechanical Properties of SS400, STS304 and SW-316

material	Yielding strength (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation (%)
SS400	245	400~510	17
STS304	205	520	40
SW-316	-	590	40

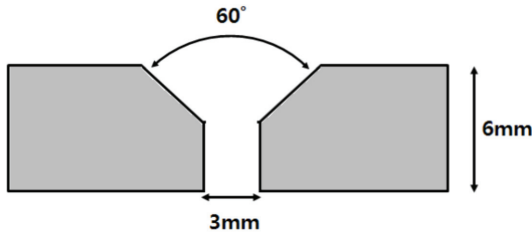


Fig.1 Shape and dimensions of welding specimen

Table 3 Welded specimen

Test sample. 1	SS400 - Welding - STS304
Test sample. 2	STS304 - Welding - STS304

Table 4 Welding conditions

MIG	Current (A)	Volt (V)	Speed (mm/sec)	Weave Speed (mm/sec)	Weave range (sec)	stay time (sec)
First	120	20	10	.	.	.
Second	130	22	10	2	1.5	0.7

본 연구에서 사용한 용접기는 (주)POS-TECH에서 제작한 BEAM-350 모델로서, CO₂, MIG, MAG 용접을 할 수 있는 용접장치이다. 이 용접기에는 전류, 전압, 주행속도, 위빙 폭, 위빙속도, 좌·우 멈춤을 조절할 수 있는 기능을 가지고 있다. 사용된 전극 와이어는 지름 1.2mm, 용접속도는 10mm/min 로 하였고, Ar 보호가스를 5 l/min의 가스공급량으로 용접하였다. 또한, 용접시험편에 1차 용접과 2차 용접으로 나누어 용접을 실시하여 용접부가 완전히 채워지도록 하였다. 1차용접시 이면을 보호하기 위해 ceramic backing을 부착하여 용접하였다. Table 4 는 본 연구에서 실시한 용접조건이다.

2-2 MIG용접

MIG 용접은 불활성가스를 이용하여 아크나 용융금속으로부터 차단, 보호하고 지름 1.0~2.4mm의 전극 와이어를 일정 속도로 토치에 공급하여 와이어와 모재사이에 아크를 발생시켜 용접하는 방법이다. 알루미늄과 알루미늄합금, 스테인리스강, 동과 동합금의 용접에 주로 사용한다. 경제성이라는 측면에서 강의

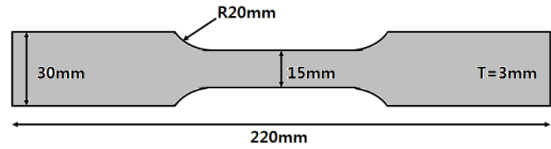


Fig.2 Shape and dimensions of tensile test specimen

용접에는 잘 쓰지 않는다. 전류밀도가 높고 비드 외관이 미려하다. TIG 용접에 비해서 고 능률적이며, 3mm 이상의 후판 용접에 적합하다.

2-3 실험방법

2-3-1 X선 촬영

실험에 앞서 용접의 정상유무를 파악하기 위해 방사선투과시험을 하여 용접부의 결함유무를 파악하였다. X선 촬영장비는 Rigaku사의 RF-250 EGM을 사용하였다.

2-3-2 경도시험

경도측정은 Micro-Vickers 시험을 실시하여 4가지 시험편의 용착부를 500g의 하중으로 중심에서 2mm 씩 좌, 우로 4구간과 양쪽 모재부를 10회 측정한 후, 최대 및 최소값을 제외한 나머지 값들의 평균값을 구하였다.

2-3-3 인장시험

인장시험편은 용접된 재료를 ASTM 규격에 따라 Fig. 2와 같이 표준 인장시험편으로 가공하였고, 중앙부에 용착부, 열영향부, 모재부가 위치하도록 하였다.

용착부를 포함한 시험편의 정적 인장강도시험을 위하여 INSTRON사 유압식 만능재료시험기(Servo hydraulic fatigue testing machine: Model 8516)를 사용하였다.

2-3-4 피로시험

피로수명 및 피로한도의 평가를 위하여 시험편을 Fig. 3과 같이 ASTM 규격으로 제작하였고, 인장시험편과 마찬가지로 중앙부에 용착부, 열영향부, 모

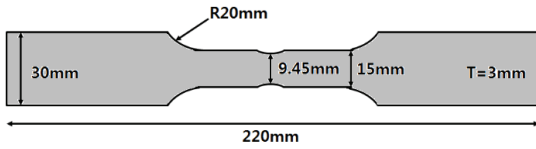


Fig.3 Shape and dimensions of fatigue test specimen

재부가 위치하도록 하였다. 본 시험에 사용된 시험기는 정적인장시험과 같은 유압식 만능재료시험기를 사용하였다. 최대 용량 10ton, 응력비 R=0.1, 하중반복속도 10Hz, 인장-인장형태의 정현파(sine wave) 하중을 부가하여 시험하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3-1 X-Ray 조사

용접된 시험편의 결함유무를 파악하기 위해 가장 편하고 간단하게 할 수 있는 X-Ray 시험을 실시하였다. 일반적으로 동종소재의 용접인 경우 그 금속에 맞는 충분한 용접을 선택하여 용접하기 때문에 큰 결함은 발생하지 않는 경우가 대부분이다. 하지만 이종용접의 경우는 Fig. 4와 같이 슬래그 혼입, 균열, 기공, 용합불량 등의 결함이 쉽게 발생한다. 인장실험 및 피로시험에 사용한 시험편은 Fig. 5에 나타난 바와 같이 용접불량이 전혀 없는 용접 시험편을 사용하였다.

3-2 경도시험

Table 5 및 Fig. 6은 SS400와 STS304 소재의 MIG 용접시 용착부를 중심으로 시험편의 중앙 용접부 좌우에 2mm 간격으로 경도 값을 측정하여 나타낸 것이다. 이 결과에서 좌우측 약 5mm 지점까지가 용착부 및 열영향부로 판단되고 좌우측 5mm 지점부터는 각각의 모재부로 판단된다. 또한 Table 6 및 Fig. 7은 STS304 동종재료 간의 MIG 용접시의 용착부, 열영향부 및 모재부의 경도 값을 나타내었다. 이 경우에도 좌우측 약 5mm 지점까지가 용착

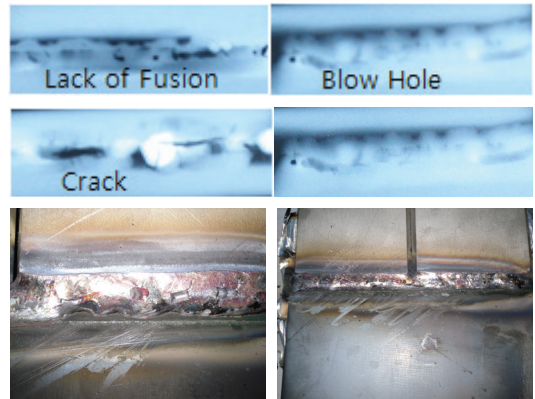


Fig. 4 X-ray topographic of welding defects



Fig. 5 X-ray topographic of welding defects specimen

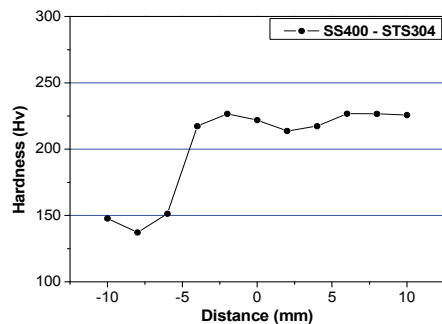


Fig. 6 Vickers hardness of MIG welding for SS400 and STS304

부 및 열영향부로 판단되고 좌우측 5mm 지점부터는 STS304 소재의 모재부 경도 값으로 판단된다. STS304 동종재료간의 용착부 경도값이 SS400 소재

Table 5 Vickers hardness values according to a distance of MIG welding for SS400 and STS304

mm	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
Hv	147	137	151	217	226	221	213	217	226	226	225

Table 6 Vickers hardness values according to a distance of MIG welding for STS304 and STS304

mm	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
Hv	220	222	221	225	232	248	231	217	228	232	222

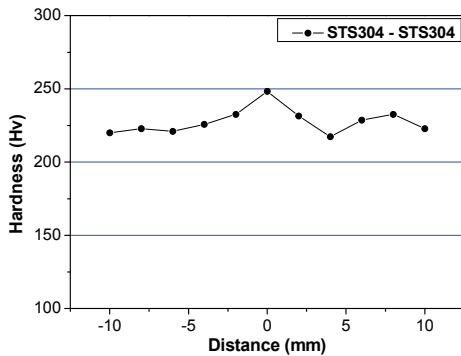


Fig.7 Vickers hardness of MIG welding for STS 304 and STS 304

와 STS304 소재의 이종재료 용착부의 경도값 보다 높게 나타남을 확인 할 수 있었다. 그리고 용착부 열영향부 및 모재부의 경도 값을 비교 했을 때 용착부와 열영향부의 경도 값이 모재부에 비해 높게 나타났음을 확인 할 수 있었다.

3-3 인장시험

Table 7과 Fig. 8에 SS 400와 STS 304 소재의 용접시험편과 STS 304 동종재료간의 MIG 용접시험편에 대해서 정적인장시험 결과를 나타내었다. 인장시험 결과 용접성이 우수한 SS 400소재가 포

Table 7 Results of tensile test

Test specimen	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Young's modulus (MPa)	Elongation (%)
No. 1	623.4	485.5	223,300	48.42
No. 2	598.3	364.4	280,200	26.02

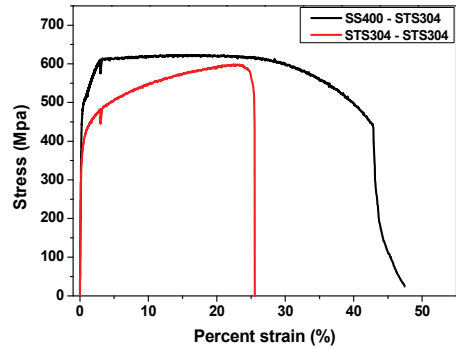


Fig. 8 Stress-strain curve of welding specimen

함되어있는 이종재료간의 용접시험편이 STS 304 동종재료간의 용접시험편 보다 인장강도와 연신율이 우수한 결과가 나타남을 확인 할 수 있었다.

3-4 피로시험

Table 8과 Fig. 9에는 SS 400 소재와 STS 304 소재간의 이종재료, STS 304 동종재료에 대해서 각각 MIG 용접시험편의 피로시험결과를 나타내었다. 피로시험 결과에서도 정적인장강도 시험결과와 같이 이종재료간의 용접 즉, SS 400 소재와 STS 304 소재간의 용접시험편이 STS 304 동종재료간의 용접 시험편에 비해서 높은 피로한도 결과를 나타내었다. 그 이유로는 인장시험 결과와 같이 SS 400 소재는 연신율이 크고, 용융점이 STS 304 소재에 비해서 낮기 때문에 용착금속이 쉽게 용접부에 용해되어 용접 된 것으로 판단된다.[8,9]

Fig. 10은 SS 400 소재와 STS 304 소재간의 이종재료 용접시험편과 STS 304 동종재료간의 MIG 용접시험편에 대해서 피로시험 후 피로파면을 주

Table 8. Fatigue test results of MIG welding for SS 400 and STS 304

	P	Pa	Pm	Cycles
85%	2165.2	974.3	1190.8	132,244
80%	2037.8	917	1120	292,068
75%	1910.4	860	1050.6	621,495
74%	1885.0	848.2	1036.7	1,000,000
70%	1783.1	802.4	980.7	1,000,000

Table 9. Fatigue test results of MIG welding for STS304 and STS 304

	P	Pa	Pm	Cycles
85%	2340.2	1053.0	1287.1	30,958
80%	2202.5	991.1	1211.4	166(defect)
70%	1927.2	867.2	1059.9	6341(defect)
65%	1789.9	805.3	984.2	144,981
60%	1652.2	743.3	908.5	433,722
50%	1376.8	619.4	757.1	1,000,000

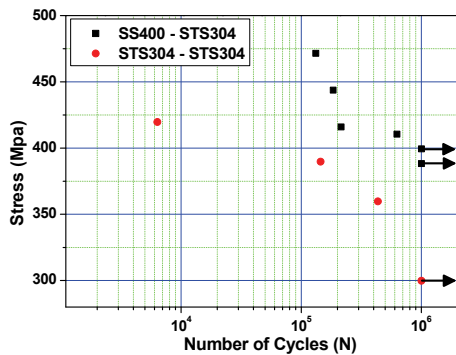


Fig. 9 Fatigue test results of Stress and cycle numbers to failure for MIG welding specimen

사전자현미경(FE-SEM)으로 분석한 결과이다. Fig. 10(a)에서 보는바와 같이 피단면에 일정한 간격의 striation이 나타나고 있다. 이것은 하중이 증가함에 따라서 균열 끝에서 소성변형이 많이 일어나고, 인장응력이 걸릴 때 균열이 전파되고 새로이 생기는 파면이 대기 중에서 고온산화가 일어난 것으로 판

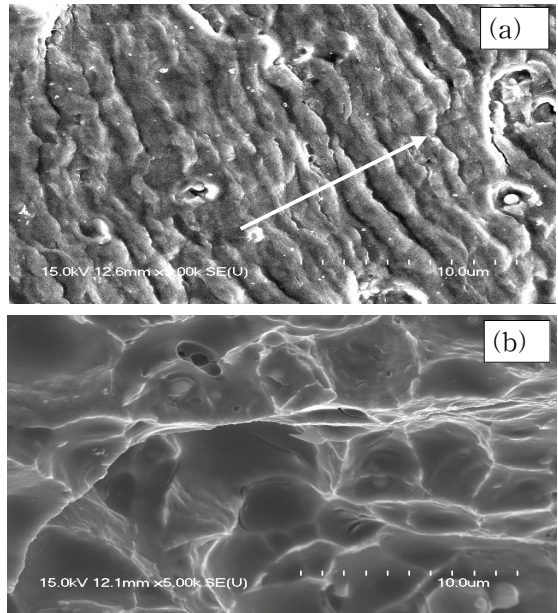


Fig. 10 SEM images of the fatigue fracture surface

단된다. 그리고 압축응력이 걸릴 때 산화된 파면이 용착 되지 않기 때문에 뚜렷하고 규칙적인 striation이 발생된다. 이것은 진공중의 피로파면과 비교해 봄으로서 잘 알 수 있다. striation이 없어지는 부분에서 Fig. 10(b)에 나타난 것 과 같은 dimple 파괴가 일어났다. 최초 균열이 발생되고 취성파괴, 연성 striation, dimple 파괴의 순서로 전 파괴과정이 입내파괴의 양상으로 나타나고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 SS 400 소재와 STS3 04 소재의 이중재료간 그리고 STS 304 동종재료간의 MIG 용접시험편에 대해서 용접특성 및 인장 및 피로강도 특성을 조사하기 위하여 실험연구를 수행하였고 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 동종재료로 용접된 STS 304 시험편이 이중재료로 용접된 SS 400 소재와 STS 304 시험편보다 용착부의 경도가 높게 나타났다. STS 304의 경도는 크기는 용착부, 열영향부, 모재부 순서로 나타났으며, 이중재료로 용접된 SS 400의 경도 크기는 열영

향부, 용착부, 모재부 순서로 나타났다.

2) SS 400과 STS 304 이종재료로 용접된 시험편의 인장강도는 623.4 MPa 로써 STS 304 동종재료로 용접된 시험편 598.3 MPa 보다 약간 상회하였고, 연신율은 48.42%와 26.02%로 약 2배 가까이 크게 나타나서 인장강도 및 연신율이 양호하여 적합한 용접방법으로 판단된다.

3) 피로시험 결과도 인장강도가 높게 나타났던 SS 400과 STS 304 소재간의 용접시험편이 STS 304 동종재료로 용접된 시험편보다 높은 피로한도를 나타내었다. STS 304 동종재료로 용접된 시험편은 용접후의 잔류응력제거나 최적용접조건, 용접후처리 공정 등의 연구가 선행된다면 보다 우수한 기계적 특성을 나타낼 것으로 판단된다.

참고문헌

1. D.G. Lee, K.C. Jang, J.M. Kuk, I.S. Kim, "Fatigue properties of inertia dissimilar friction-welded stainless steels", *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 155 - 156, pp 1402-1407, 2004
2. Kunihiko Iida, Youichi Yazaki, "The bending fatigue strength of welded steel pipe with uniform mismatch", *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, Volume 3 Issue 3, pp 211-228, 1975
3. H.T. Kang, Pingsha Dong, J.K. Hong, "Fatigue analysis of spot welds using a mesh-insensitive structural stress approach", *International Journal of Fatigue*, Volume 29 Issue 8, pp 1546-1553, 2007
4. Ilkka Poutiainen, Gary Marquis, "A fatigue assessment method based on weld stress", *International Journal of Fatigue*", Volume 28 Issue 9, pp 1037-1046, 2006
5. J.K. Hong, J.H. Park, N.K. Park, I.S. Eom, M.B. Kim, C.Y. Kang, "Microstructures and mechanical properties of Inconel 718 welds by CO₂ laser welding", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol 201, Issues 1-3, pp 515-520, 2008.
6. L.W. Tsay, C.L. Hsu, C. Chen, "Notched tensile fracture of Ti-4.5Al-3V-2Fe-2Mo welds at elevated temperatures", *Materials Chemistry and Physics*, Vol 120, Issues 2-3, pp 715-721, 2010.
7. S. Pratihari, V. Stelmukh, M.T. Hutchings, M.E. Fitzpatrick, U. Stuhr, L. Edwards, "Measurement of the residual stress field in MIG-welded Al2024 and Al7150 aluminium alloy compact tension specimens", *Materials Science and Engineering: A*, Volume 437, Issue 1, PP 46-53, 2006.
8. C. Zhou, X. Yang, G. Luan, "Investigation of microstructures and fatigue properties of friction stir welded Al-Mg alloy", *Materials Chemistry and Physics*, Volume 98, Issues 2-3, PP 285-290, 2006.
9. S.H. Han and J.K. Kim, "The Behaviour of Strength and Fatigue Crack Propagation of Various Steels in Steel bridges", *KSME*, vol 21, No 10, pp 1694-1701, 1997.