한국공작기계학회논문집 Vol.17 No.5 2008. 10.
Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers

船舶用 프로펠러의 腐蝕피트 보수후의 강도의 개선

윤한용*

(논문접수일 2008. 6. 2, 심사완료일 2008. 8. 12)

An Improvement of the Strength of Marine Propeller Materials after Corrosion Pit Repairing

Han-Yong Yoon*

Abstract

Marine propeller is one of the most important element of ship, it must be taken care of design and maintenance of it. It is inevitable that corrosion pits have occurred on the marine propeller. If corrosion pits have occurred on the blades, they have been repaired ordinary by simple welding methods in shipyards. It must be that the strength is degraded in this process. In this paper, we represent the improvement method of fatigue strength degraded after repairing pits.

Key Words : Marine Propeller(선박용 프로펠러), Pit(피트), Air Jet Chisel(에어젯 치즐), Peening(피닝), AlBC3(고강도 황동주물), HBsC1(알루미늄 청동주물)

1. 서 론

프로펠러의 손상은 주로 변형과 절손사고들이며 이들 사고의 대부분은 프로펠러가 이물질에 의한 피팅현상, 재질불량, 날개두께의 불량, 산화 및 선체와 프로펠러 사이의 전위차에 의한 부식현상 등으로 나타낼 수 있으며[1], 이들 손상부위는 어떠한 방법에 의하여 보수하지 않으면 저하된 강도에 의해 커다란 사고를 유발할 수 있다.

사소한 흠 또는 파손은 프로펠러를 축으로부터 분리해 내지 않고 수리를 하는 경우가 많으며, 손상 수리방법에는 여러 가지가 있으나, Fig. 1과 같이, 주로 용접작업을 행하여 수리를 한다. 용접부에는 기포, 슬래그 혼입, 언더컷, 피트, 고온균열 등 여러 형태의 결함이 존재하기 쉽고[2-4], 용접부의 균열로부터 기인된 파손사고는 다수 보고된 바 있다[5-7]. 선박용 프로펠러의 경우, 대부분의 재질이 동합금, 특히 고강도 황동 주물(HBsC)과 알루미늄 청동주물(AlBC)로 이루어져 있으며 이들 동합금 용접에 대한 전문적인 지식과 기술이 필요한 실정이다. 그러나 대부분의 선박수리보수업체에서는 예전부터 시행해온 경험적인 용접수법에 의하여 프로펠러를 보수하고 있으며, 미국용접협회(American Welding Society)[8]

* 목포대학교 기계공학과 (hyyoon@mokpo.ac.kr)
주소: 534-729 전남 무안군 청계면 도림리 61

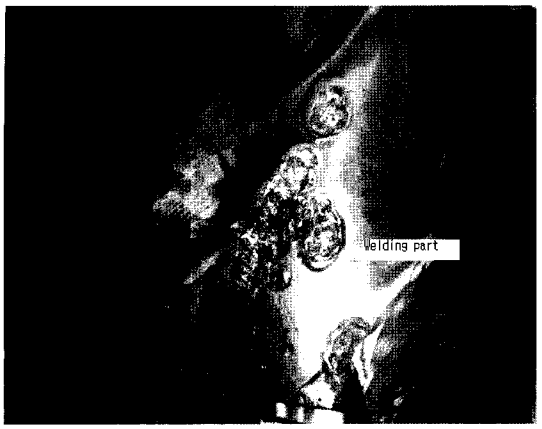

Fig. 1 Welded part of propeller blade

에서 조차도 이들 특이금속의 용접법에 대하여 뚜렷하게 제시하질 않고 있는 실정이다.

부식피트(corrosion pit)의 보수에 관한 연구는 별반 눈에 띄지 않으나, 근년 임 등은[9] 프로펠러재의 인공피트를 부여한 후에 몇 가지의 접합방식으로 부식피트를 보수한 후에 접합방법에 따른 강도의 차이를 제시하였으며, 어느 방법을 이용하던 피트를 부여하지 않은 모재보다 강도가 떨어짐을 나타냈다. 또한, 동일 연구팀은 프로펠러재의 강도에 관한 일련의 연구[10]에서 프로펠러재의 비강도(specific strength : 피로강도/인장강도)가 다른 금속재료에 비해 떨어지며, 강도의 개선의 필요성을 제기한 다음, 선박의 녹(rust) 제거 등에 이용되는 젯 치즐(jet chisel)을 이용하여 강도의 개선효과를 보았음을 제시하였다.

본 연구에서는 이들 일련의 연구결과를 바탕으로 하여 부식피트의 보수후 저하된 강도를 개선하는 방법을 제시하고 그 유효성을 입증하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 시험재료 및 시험편의 가공

본 연구에 사용된 재료는 주물용 선박프로펠러로 주로 사용되고 있는 2종류의 재질로써 AlBC3(알루미늄청동주물 제3종), HBsC1(고강도 황동주물 제1종)이다. 이들의 화학성분 및 인장시험에 의하여 얻어진 기계적 성질을 Table 1과 2에 정리하였다.

염색침투탐상시험 결과 이상이 없는 것을 특수 엔드밀을 이용하여 Fig. 2와 3에 나타내는 바와 같은 인장시험편 및

Table 1 Chemical composition of specimens

Kind	composition(wt %)							
	Cu	Al	Fe	Ni	Mn	Zn	Sn	Pb
HBsC1	57.95	1.25	0.75	-	1.18	Rem	-	-
AlBC3	81.66	9.15	3.80	4.13	0.99	0.12	0.09	0.03

Table 2 Mechanical properties of specimens

Kind	tensile test		
	yield strength (MPa)	tensile strength (MPa)	elongation (%)
HBsC1	261.7	524.6	27.6
AlBC3	285.1	732.0	222.8

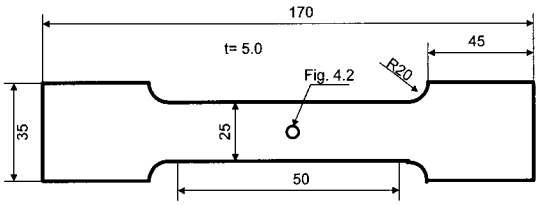

Fig. 2 Dimension of tensile test specimen

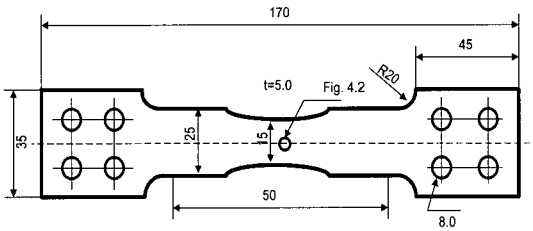

Fig. 3 Dimension of fatigue test specimen

피로시험편을 가공하였다. 프로펠러의 평면성을 고려하여 모두 판재형을 채택하였으며 피로시험편의 경우는 시험편의 중앙에 큰 반경의 노치를 부여하였다. 이는 시험편의 그립부나 기타의 부분에서의 파괴를 피하고 시험편의 중앙에서 피로파괴가 발생하도록 유도하였다. 물론 이 노치효과는 보정해 주도록 하였다.

부식피트의 효과를 위하여 Fig. 4와 같은 형상의 인공피트을 부여하였다. 이 형상은 선급에서 규정하고 있는 결함 제거 후 용접보수를 위한 가공형상을 참고하였다.

이어서 부식피트부에 현장에서 일반적으로 많이 사용되

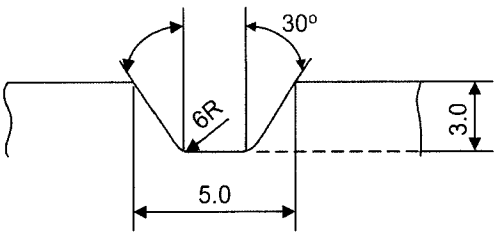

Fig. 4 Dimension of flaw on specimen

고 있는 3종류의 형태로 마무리하여 표면을 밀링으로 가공을 하였다. 첫째 방법으로는, 일반적으로 중·소형 수리업체에서 많이 채택하고 있는 방법으로 산소-아세칠렌 가스용접을 실시하였으며, 용접봉은 원래의 재질과 동일한 것으로 만들어 사용하였다. 둘째 방법으로는, 반자동 알곤가스 아크용접(GMAW)으로, 용접봉으로는 프로펠러 용접수리에 많이 쓰이고 있는 WS-A5.7/ERCuAl-A2이며, DCRP, Wire diameter 1.14mm, Volts 26, Amps 200, 100% argon: 50-65cfh, tilt gun 35°방법으로 용접을 실시하였다. 용접부는 아주 작은 부분이므로 용접은 스피드 20[cm/min]로 단시간 실시하였다.

후술하는 실험결과에서도 밝히듯이 용접을 실시하면 강도는 저하되기 마련이다. 이를 개선하기 위하여 후처리로, Fig. 5와 6에 나타내는 에어젯 치즐(air jet chisel)을 이용하여 용접부 주변을 중심으로 한 노치부를 30초간 피닝(peening)하였다. 피로를 포함한 재료강도의 개선에는 침탄, 질화, 고주파경화 쇼트 피닝[11]등의 표면경화 처리를 실시하고 있다. 그러나 본 재료는 동합금의 특성상 일반적인 표면경화처리 방법은 효과를 나타내질 않고, 또한, 프로펠러의 형상과 크기로 인하여 동일한 방법을 실시할 수가 없다. 에어젯 치즐은 작업자가 손에 들고 작업하는 것으로 제품의 형상이나 크기에 크게 제약을 받지 않는다.

2.2 실험 방법

시험편은 인공피트를 부여하지 않은 시험편, 인공피트를 부여한 시험편, 피트를 산소용접으로 보수한 시험편, 피트를 알곤용접으로 보수한 시험편의 각 4종류에 용접으로 보수한 시험편을 다시 젯 치즐로 후처리를 실시한 시험편 2종류를 포함하여 총 6종류의 시험편에 대해 인장시험과 피로시험을 실시하였다.

인장시험은 만능 인장시험기(용량:±15.0ton) SHIMADZU사의 model UH-30A로 변위제어 방식을 이용하여 실시하였고, X축의 속도는 5[mm/min]으로 하였다.

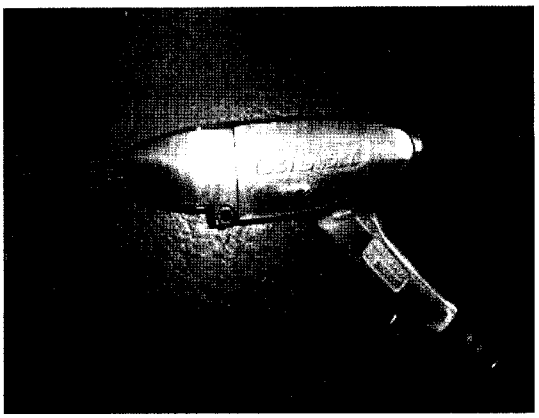

Fig. 5 Jet Chisel(model: JEX-24)

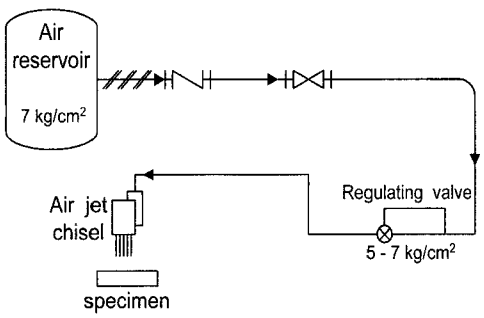

Fig. 6 Sequence of jet chisel peening

피로시험에 사용한 시험기는 SHIMADZU사의 전동유압 피로시험기(Electro hydraulic fatigue machine) EHF-ED-40L (용량:±10ton)이며, 시험은 실온에서 응력비 0.1로 실시하였다. 동합금 재질의 특성상 시험편을 체결하는데 어려움이 있어 SM20C로 특수 제작한 지그(jig)와 체결볼트를 이용하여 체결하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 보수수법에 따른 인장강도의 변화

인장시험으로부터 얻어진 결과를 Fig. 7과 8에 나타낸다. Fig. 7은 AlBC3의 경우이고, Fig. 8은 HBsC1의 경우이다.

AlBC3의 경우 인공피트을 부여한 시험편(□)은 부여하지 않은 모재(○)에 비해 인장강도가 상당히 저하함을 알 수가 있고, 용접에 의해 보수한 경우 약간 상승한다. 그러나 용접법에 따라서 그 상승의 정도가 달라지며, 산소-아세칠렌

가스용접을 한 시험편(◇)보다 알곤가스 아크용접을 한 시험편(△)이 보다 양호함을 알 수가 있다. 젯 치즐에 의해 후처리를 실시한 시험편(◆, ▲)의 경우 상당부분 강도의 저하가 회복됨을 알 수가 있다.

HBsC1의 경우, 그 경향은 비슷하나, 산소-아세칠렌 가스용접을 한 시험편(◇)보다 알곤가스 아크용접을 한 시험편(△)의 인장강도가 오히려 약간 떨어지는, AlBC3의 경우와는 반대되는 양상을 나타냈다. 이 경우에도 젯 치즐에 의해 후처리를 실시한 시험편(◆, ▲)의 경우 상당부분 강도의 저하가 회복됨을 알 수가 있다.

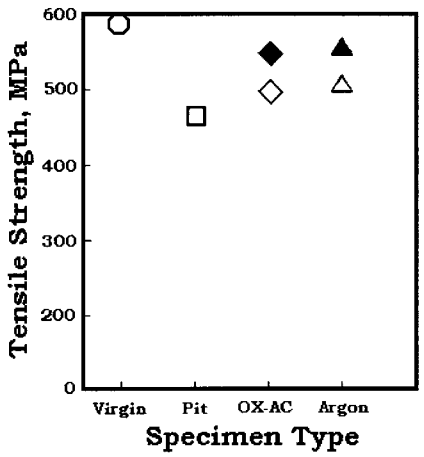

Fig. 7 Tensile strengths by repairing methods(in case of AlBC3)

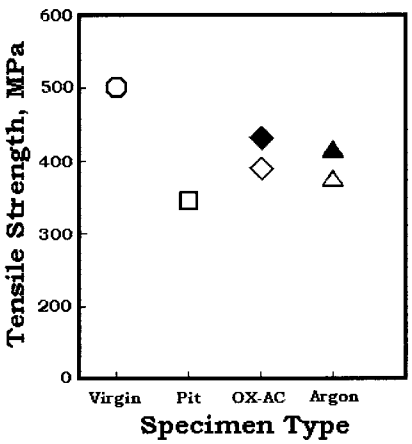

Fig. 8 Tensile strengths by Repairing Methods(in case of HBsC1)

3.2 보수수법에 따른 피로강도의 변화

Figs. 9~12에 피로시험 결과를 나타낸다. Fig. 9와 10은 AlBC3의 결과이며, Fig. 11과 12는 HBsC1의 시험결과이다.

Fig. 9로부터 AlBC3의 경우 인공피트에 의해 피로강도가 저하하였다가 용접에 의한 보수에 의해 상승함을 알 수가 있다. 인장시험결과와 마찬가지로 용접방법에 따라 상승의 정도에 있어서 차이가 크며, 알곤용접을 한 시험편(△)쪽이 산소-아세틸렌 가스용접을 한 시험편(◇)보다 상승폭이 크다. 두 시험편의 경우 그 차이가 고수명역에서는 거의 없으나 저수명역으로 갈수록 커짐을 알 수가 있다.

Fig. 10은 보수후 후처리로 젯 치즐에 의한 피닝을 실시한

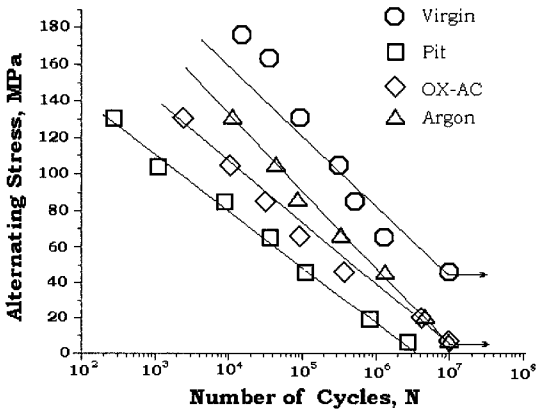

Fig. 9 Fatigue strengths by repairing methods(in case of AlBC3)

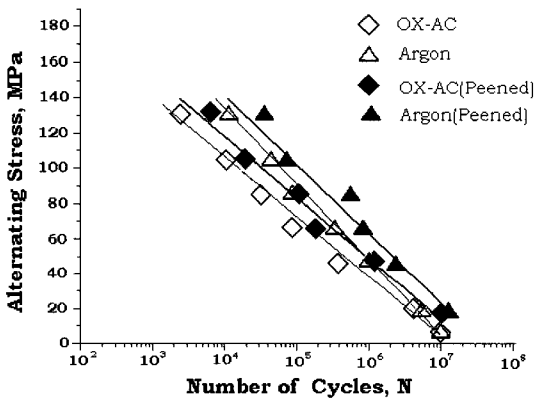

Fig. 10 Effect of peening after repairing(in case of AlBC3)

시험편(◆, ▲)과 실시하지 않은 시험편(◇, △)의 차이를 나타낸 것이다. 인장강도의 경우와 마찬가지로 저하된 피로강도가 향상됨을 확인할 수가 있다.

Fig. 11의 HBsC1의 경우, Fig. 9의 AlBC3의 경우보다 응력레벨의 폭이 작다. 즉, 인공Pit에 의한 강도의 저하가 AlBC3보다 작으며 따라서 용접에 의한 보수에 의한 상승의 폭도 AlBC3보다 작음을 알 수가 있다. 용접방법에 따른 차이에 있어서, 고수명역에서는 거의 없으며 저수명역으로 갈수록 커짐은 AlBC3와 비슷하나, 인장강도의 경우와 마찬가지로 AlBC3와는 반대로 알곤용접을 한 시험편(△)쪽보다 산소-아세틸렌 가스용접을 한 시험편(◇)쪽이 상승폭이 크다. 두 시험편의 경우 그 차이가 고수명역에서는 거의 없으나 저수명역으로 갈수록 커짐을 알 수가 있다.

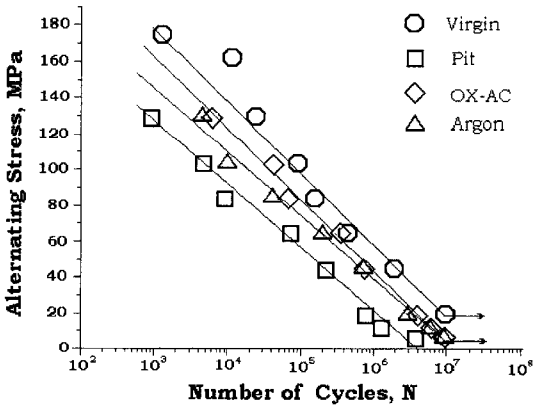

Fig. 11 Fatigue strengths by repairing methods(in case of HBsC1)

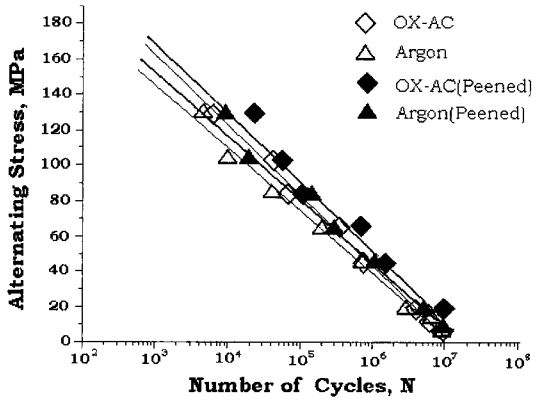

Fig. 12 Effect of peening after repairing(in case of HBsC1)

Fig. 12는 보수후 후처리로 젯 치즐에 의한 후처리를 실시한 시험편(◆, ▲)과 실시하지 않은 시험편(◇, △)의 차이를 나타낸 것이다. 인장강도의 경우와 마찬가지로 저하된 피로강도가 어느 정도 향상됨을 확인할 수가 있다. 그러나 원래 작은 응력 폭 때문에 그 향상의 정도는 AlBC3보다 작음을 알 수가 있다.

젯 치즐에 의한 피닝에 의한 인장강도 및 피로강도의 향상은 용접부 주변에 형성되는 인장잔류응력장의 완화 및 미세결함의 제거로 생각되어지며 이들에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

4. 결 론

본 연구에서는 선박에 주로 많이 사용되고 있는 2종류의 프로펠러 주물(AlBC3와 HBsC1)을 이용하여 인공 부식피트를 부여하고, 현장에서 시행하고 있는 동일한 방법에 의해 부식피트를 보수한 다음 후처리로 젯 치즐을 이용한 후처리를 실시한 시험을 가지고 제반 강도 실험을 수행하여, 선박용 프로펠러 재료의 강도에 미치는 이들 보수수법과 후처리의 영향을 파악하고자 하였다. 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) AlBC3의 경우 인공피트를 부여한 시험편은 부여하지 않은 모재에 비해 인장강도가 상당히 저하하며, 용접에 의해 보수한 경우 약간 상승한다. 그러나 용접법에 따라서 그 상승의 정도는 달라진다. 젯 치즐에 의해 후처리를 실시한 시험편의 경우 상당부분 강도의 저하가 회복되었다.

(2) HBsC1의 경우, 그 경향은 비슷하며 젯 치즐에 의해 후처리를 실시한 시험편의 경우 상당부분 강도의 저하가 회복되었다.

(3) AlBC3의 경우 인공피트에 의해 피로강도가 저하하였다가 용접에 의한 보수에 의해 어느 정도 상승한다. 인장시험결과와 마찬가지로 용접방법에 따라 상승의 정도에 있어서 차이가 크다. 두 시험편의 경우 그 차이가 고수명역에서는 거의 없으나 저수명역으로 갈수록 커진다. 보수후 후처리로 젯 치즐에 의한 피닝을 실시하면 어느 정도 저하된 피로강도가 향상된다.

(4) HBsC1의 경우, 인공피트에 의한 강도의 저하가 AlBC3보다 작으며 따라서 용접에 의한 보수에 의한 상승의 폭도 AlBC3보다 작다. 보수후 후처리로 젯 치즐에 의한 후처리를 실시하면 저하된 피로강도가 어느 정도 향상

된다. 그러나 원래 작은 응력 폭 때문에 그 향상의 정도는 AlBC3보다 작다.

젯 치즐을 이용한 피닝에 의한 인장강도 및 피로강도의 향상은 용접부 주변에 형성되는 인장잔류응력장의 완화 및 미세결함의 제거로 생각되어지며 이들에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

후 기

본 논문은 2004학년도 목포대학교 BK21사업지단의 지원에 의한 것임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

(1) Jeon, H. J, 2000, *Propeller Shafting and Propeller*, Dae Jin Publishing Co., Seoul, pp. 303~307.

(2) Masa, I., 2001, *Welding of Copper and Copper Alloys*, Welding Technology, Tokyo, pp. 111~113.

(3) Kazuo, H. and Sigeo I., 1998, *Welding Technology*, Sanpo Publishing Co., Tokyo, Vol. 22, p. 160.

(4) Japan Welding Society, 1984, *Handbook of Welding*, Journal of Japan Welding Society, Tokyo, p. 1099.

(5) Shank, M. E., 1965, *A Critical Survey of Brittle Fracture in carbon Steel Structures other than Ships*, Weld. Res. Coun. Bull., New York, pp. 17~19.

(6) Parker, E. R., 1957, *Brittle Behavior of Engineering Structures*, John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 234~236.

(7) Boyd, G. M., 1970, *Brittle Fracture in Steel Structures*, Butterworths, New York, p. 65.

(8) Code, 1994, *Structural Welding Code, ANSI/AWS D1.1-94*, American Welding Society, New York, pp. 34~54.

(9) Im, M. H., Yoon, H. Y., Kim, T. S., and Chung, U. C., 2004, "The Effect of Corrosion Pit Repairing Method on the Strength of Marine Propeller," *Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 21, No. 3, pp. 124~131.

(10) Lim, M. H., Yoon, H. Y., and Jung, U. J., 2005, "A Study on the Fatigue Strength Evaluation and Improvement of Marine Propeller Materials," *Journal of Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, Vol. 29, No. 3, pp. 477~483.

(11) Lee, S. H., Kim, H. S., and Cheong, S. K., 1998, "Study on the Characteristics of Shot Peened Materials," *Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 7, No. 2, pp. 15~22.