특집논문: 차량 경량화를 위한 고에너지 융합기술

자동차 부품 제조를 위한 레이저 스티치 용접 기술

주성민* · 방희선**,† · 한준의*** · 김경학*** · 안병호****

*포항산업과학연구원(RIST) 플랜트 연구본부
**조선대학교 선박해양공학과
***조선대학교 선박해양공학과 대학원
****(주) 광일기공

Laser Stitch Welding Technology for the Fabrication of Automotive Parts

Sung-Min Joo*, Hee-Seon Bang**†, Jun-Ui Han***, Kyoung-Hak Kim*** and Byoung-Ho Ahn****

*Research Institute of Industrial Science & Technology, Plant R&D Division, Ulsan 683-420, Korea
**Department. of Naval Architecture & Ocean Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea
***Graduate School of Naval Architecture & Ocean Engineering, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea
****Gwang Il Machine, Kwangju 506-301, Korea

†Corresponding author : banghs@chosun.ac.kr
(Received August 16, 2013 ; Revised August 25, 2013 ; Accepted August 26, 2013)

Abstract

Nowadays, the weight lightening of automotive is required as conserving the environment has become a major worldwide issue. To solve this issue, various researches for the use of light materials(Alalloy, Mgalloy)and ultra high strength steel as substitutes of the current structural material have been carried out. Application of laser stitch welding to the assembly of automotive produces improvement in strength, lightening of body, higher fuel efficiency, lower production cost as well as reduction in assemble line due to its fast welding speed, superior accessible and weld quality. This process overcomes the shortcomings of the current resistance spot welding such as high electricity consumption, electrode replacement, and economical, technical limitation in design and production method of automotives.

Key Words : Laser stitch welding, Weight lightening, Weld quality, Automotives

1. 서 론

최근 자동차의 경량화 및 고성능화를 위한 연구 개발의 가속화와 병행하여 차체의 고강도화, 경량화, 생산성 향상 기술 등이 지속적으로 연구 개발되고 있다. 자동차 산업에서 정밀도가 높은 제품과 부품의 제조과정에 고 에너지 열원의 레이저빔 정밀용접공정 사용이 해외에서 점점 확대되고 있으며, 레이저 빔 용접 기술은 정밀제품의 생산성을 향상시키는 중요한 공정으로 제품의 품질을 결정하는 요인으로 인식되고 있다[1]. 특히 레이저 스티치 용접은 우수한 접근성, 빠른 용접 속도 및 우수한 품질을 가지고 있어서 레이저를 이용한 차체용접을 수행함으로써 차체조립라인을 줄이는 동시에 차체의 강도의 향상 및 차체 경량화, 연비개선, 생산비 절감을 꾀할 수 있어 기존의 저항 점용접(Resistance spot welding)을 기초로 한 자동차 설계 및 생산 방식의 경제적, 기술적 한계를 극복할 수 있다. 따라서 본 기술논문에서는 레이저 스티치 용접 기술의 특징, 레이저 스티치 용접성에 미치는 공정변수 영향, 레이저 용접 분야별 연구 동향을 분석하여 레이저 스티치 용접의 연구개발에 필요한 연구 자료를 제공 하고자 한다.

2. 레이저 스티치 용접의 특징

스티치(stitch) 용접은 띄엄띄엄 용접하는 방식으로 자동차 용접부 중 점용접과 같이 일정한 간격을 비슷하

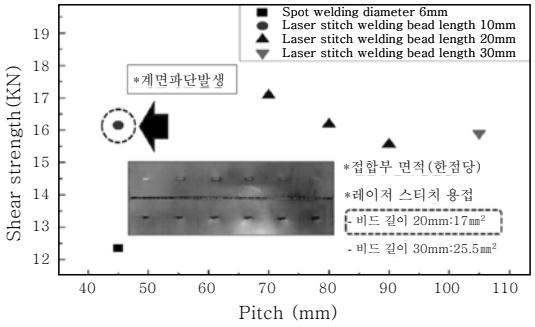


Fig. 1 Comparison of shear strength of spot and laser stitch welded joints[2)]

게 두고 용접하는 것을 말한다. 현재 유럽에서는 차체 용접으로 사용하며 박판용접 중 Lap joint에 많이 사용되는 용접이다.

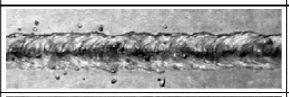
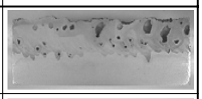
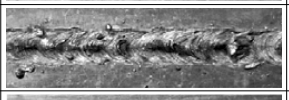
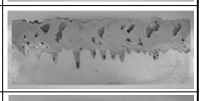
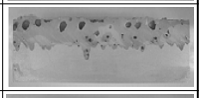
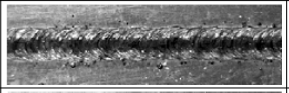
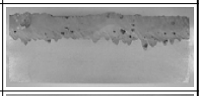
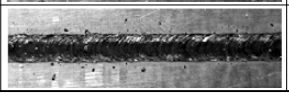
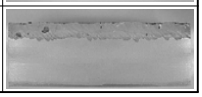
레이저 스티치 용접은 기존(점용접) 방식과 달리 비접촉식이므로 홈 너비를 일부러 늘릴 필요가 없으므로 저항 점용접에 필요한 가용면적을 50%이상 줄일 수 있고, 자동차 경량화 및 연비개선, 생산비 절감 등의 효과를 가져온다[2)]는 연구가 발표 되었으며, 다음 Fig. 1은 점용접과 레이저 스티치 용접의 피치간격에 따른 전단강도를 비교하여 점용접과 동일한 비드길이 10mm로 한 레이저스티치 용접은 충분한 용입이 이루어지지 않아 계면 파단이 발생하여 조건에 적합하지 않으며, 레이저 출력 2kw, 속도 4m/min 비드길이 20mm, 각각의 피치간격 70mm, 90mm, 105mm에서 현 점 용접(현대/기아자동차)전단강도 대비 각각 38%, 26%, 27% 향상됨에 따라 레이저 스티치 용접 시 접합부 면적이 동일하면 접합부의 비드길이와 피치간격을 조정하여 형상에 맞게 접합을 실시 할 수 있다[2)]는 결과가 발표 되었다.

3. 레이저 스티치 용접성에 미치는 요인

3.1 초점위치의 영향

레이저 용접에서는 접속 에너지의 위치가 용접부 형성과 용입 깊이에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 초점이 재료의 표면보다 위(+방향)에 존재하면 에너지 밀도의 저하에 의하여 가공물이 충분히 용융시키지 못하며, 반대로 적정량 이상으로 재료내부(-방향)에 존재하면 용입비가 저하한다. 따라서 초점위치를 정확히 선정하여 에너지 밀도를 높임으로써 단 시간에 keyhole 형성조건을 만들어 레이저의 흡수율을 높일 필요가 있다. 또, 적정한 초점위치는 재료의 종류나 두께에 따라 약간의 차이가 있는데 그 이유는 초점의 위치에 의하여 keyhole 형성기구가 변하면서 레이저 빔

Table 1 Bead appearance and cross section for defocusing length[5)]

Defocusing length (mm)	Bead appearance	Cross section
0		
-3		
-6		
-9		
-12		

과 재료와의 상호작용에 영향을 주기 때문이다[3)].

다음 결과는 자동차 차체에 적용되는 알루미늄 합금 Al-Mg계 5000계열과, Al-Mg-Si 합금인 6000계열에 레이저 겹치기 용접을 하여 레이저 초점위치에 따른 비드 표면 및 종단면의 형상을 실험한 결과 표 1과 같은 결과를 나타내었다[4)].

이 결과에 의하면 Mg의 기화점이 낮기 때문에 스패터 발생이 관찰되고 키홀의 불안정으로 인해 용접부의 내의 기공이 관찰되며 균일하지 않은 용입이 관찰된다[6)]. 초점위치를 -12mm까지 이동하는 경우 표면에서의 레이저 빔의 직경은 0.96mm로 커지게 되어 기공이 감소하고 용입 안정성이 증가 한다. 그러나 부분 용입에서 건전한 용접부를 확보하는 데는 한계가 있으므로 출력의 모듈레이션 등 특수한 기법의 적용을 검토할 필요가 있다[6,7)].

3.2 보호가스의 영향

레이저 용접에서 보호 가스는 용융금속의 산화를 막을 목적으로 이용되는 것 이외에도 용접 스패터로 부터 접속 광학계를 보호하며, 특히 용접시 발생하는 플라즈마를 억제 또는 제거하기 위한 역할이 중요하게 다루어지고 있다[8,9)]. 이러한 보호 가스는 종류와 유량압력이 용접부 형성에 영향을 미치는데, 통상 He, Ar 및 N_2 등이 사용된다. 이중에서 He은 이온화 에너지가 높으므로 플라즈마 형성 측면에서 유리한 기체로 알려져 있으나, 가격이 비싸기 때문에 저가의 Ar이 더 일반적이다. 한편, 박판이라는 특성은 질소와 같이 아크용접에서는 금기시되는 기체를 용접에 이용하거나, 용입 효율을 높이기 위한 혼합가스에 사용에 관하여도 보고되고

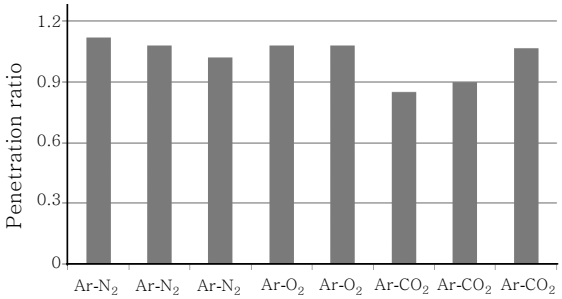


Fig. 2 Effect of shielding gas on penetration depth[3)]

있다[10)].

다음 Fig. 2는 자동차 용 박판강재를 이용하여 용입 깊이에 미치는 혼합 보호가스의 영향을 보인 실험 결과이다. 이 그림에서는 Ar을 사용하여 레이저 용접을 실시하였을 경우의 용입 깊이를 기준으로 각각의 혼합 가스 적용 효과를 나타내었다[3)].

이 결과에 의하면 순 Ar을 사용하였을 때 보다 혼합가스를 쓰는 것이 유리한 것으로 나타났으나 표면 품질, 스패터 발생 또는 내부 결함에 대한 검토를 동시에 행하여야 함을 알 수 있으며, 특히 Ar-N_2계 혼합 가스는 기공과 용접부 강도에 대하여 불리한 부분이 있었고, Ar-Co_2계 혼합 가스는 표면 품질과 스패터 발생이 저하므로 혼합비를 적절히 선정하여야 플라즈마 제어와 용입 깊이가 효과적임을 알 수가 있다[3)].

3.3 레이저 출력 및 용접 속도의 영향

Fig. 3은 STS 304 스테인리스강에 대해 레이저 겹치기 용접시 레이저 출력 및 용접속도의 변화에 따른 비드폭 및 접합길이의 변화를 조사[11)]하여 그 결과를 나타내었다.

Fig. 3 결과에 의하면 두께 1.2mm STS304L의 겹치기 용접시 레이저 출력 P=3kw 이상의 조건에서 용접속도가 v=7m/min까지 완전용입이 이루어졌다. 따라서 P=3kw이상의 출력에서는 이면으로 손실되는 빔의 양이 증가하여 출력증가에 따른 효과가 급격하게 감소한다는 것을 알 수 있었다[11)].

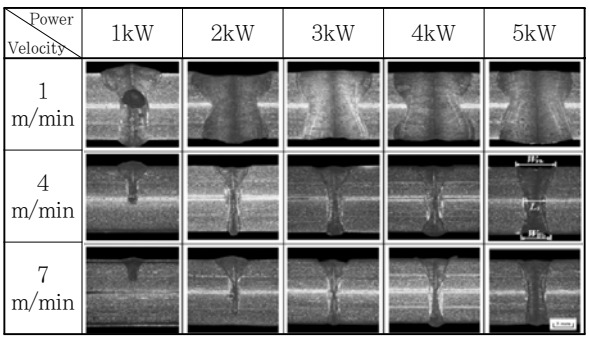


Fig. 3 Cross section for different laser power and welding speed[11)]

4. 레이저 용접 최근 연구 동향

4.1 국내·외 발표 분석 결과

독일 Munich에서 진행된 LIM 2011 International Congress에서는 레이저 용접에 관해 92편의 기술개발 논문이 발표 되었다 Fig. 4는 주요 국가별 문헌발표 비율을 나타낸 것으로 독일이 53편 스페인에서 6편, 프랑스에서 5편, 일본이 4편, 스웨덴 및 러시아가 각각 3편, 영국이 2편을 발표 하였다[1)].

2012년~2013년 대한용접·접합학회 추계·춘계 학술대회에서 발표된 레이저빔 용접 기술분야의 연구 결과는 Fig. 5와 같이 총 19편의 기술 논문 중에 자동차 분야 13편 에너지 및 발전설비 분야가 1편, 조선분야 1편, 용접장비가 2편 원자력분야 1편 철강분야 1편 그 중 자동차에 대한 레이저 용접 발표 건이 70% 차지해 국내에서도 자동차에 대한 레이저 용접 연구가 관심 되고 있지만, 국외 레이저 용접 기술 개발 있어 절반에도 미치지 못하고 있어 국내 레이저 연구 개발에 더욱더 많은 관심이 필요한 실정이다.

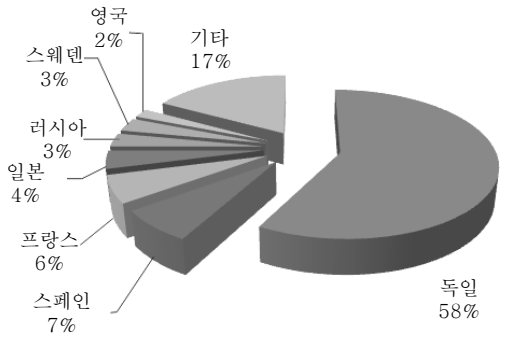


Fig. 4 Status for technical literature announcement at LIM 2011 International Congress

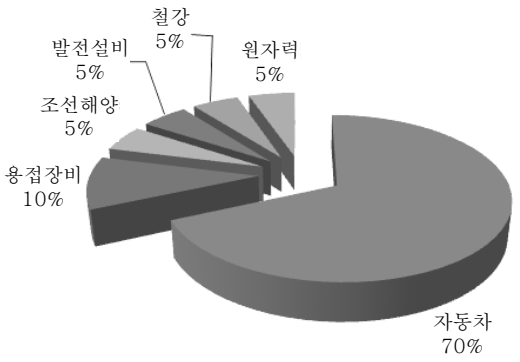


Fig. 5 Presentation of laser welding technology

4.2 분야별 연구 동향

세계적으로 환경문제에 대한 관심이 고조됨에 따라 자동차 경량화가 요구되어지고 있는 실정이다. 이를 해결하기 위해 사용되는 차체를 경량소재 알루미늄 합금과 강도를 향상시킨 초 고장력강으로 대체 적용을 위한 연구 개발이 증가하고 있다. 따라서 경량소재 알루미늄 합금, 마그네슘 합금과 초 고장력강에 대한 레이저 용접 연구 동향에 대해 살펴보고자 한다.

4.2.1 알루미늄 합금 분야

알루미늄합금을 대상으로 수행되는 레이저용접연구 방향은 양호한 용접 특성을 지닌 새로운 합금을 개발하기 위한 용접성에 관한 연구 개발, 용접구조물용으로 선정된 알루미늄합금의 최적 용접시공법을 도출하기 위한 용정공정에 관한 연구 개발로 구분된다[5].

KITECH의 김철희 등에 의해 알루미늄합금의 레이저 용접에서 기공 및 균열의 향상에 대한 논문을 발표 하였다. 이 연구에서는 알루미늄 합금 박판 소재에 레이저 겹치기 용접을 적용하였으며, 레이저 용접에서 기공, 용접부에서 발생하는 응고 균열이나 HAZ의 액화균열 양상을 관찰하여 액화균열의 경우 모재에 포함된 융점이 낮은 합금원소로 인하여 발생하고 있으며, 이의 제어를 위하여 모재의 화학적 조성을 제어하거나 저온 접합공정의 적용이 필요하다[5]라는 결론을 제시 하였다.

알루미늄 합금의 2005년~2013년 발표건수를 분석하면 총 158건으로 국외 139건, 국내 19건이 검색 되었다. Fig. 6은 추출된 년도 별 발표 건수를 나타내었다.

4.2.2 마그네슘 합금 분야

세계 각국들은 중장기 정부 프로젝트를 활용한 마그네슘 합금을 차체에 적용하기 위해 레이저 용접에 대한 심도 높은 연구를 진행하고 있다[12].

일본 New Technology Japan 학회에서 Nakata는 CO_2 레이저 용접에 관한 연구를 수행하였다. 용융부의 결정립이 미세화되어 경도는 모재와 유사하지만, 응고수축에 의한 기공 및 비금속 개재물에 의하여 항복강도는 0.2% 가량 감소 하였다 용접부의 결정립이 미세화 되었음에도 불구하고 충격강도는 모재 대비 50% 대비 가량 감소한다고 연구 발표 하였다[13].

미국 81st American Welding Sosiety Annual Meeting에서 Marya는 Nd:YAG 레이저를 이용하여 AZ91의 용접성을 평가하였다. 용접부의 기공은 레이저 빔의 직경 감소 및 용접속도 증가에 의하여 감소되었으며, 용접중에 소재의 증발은 발생하지 않았다. 비평형 응고에 의하여 용접속도가 증가 할수록 $Al_{12}Mg_{17}$ 금속간 화합물이 증가한다고 연구 발표 하였다[14].

마그네슘 합금의 2005년~2013년 발표건수를 분석하면 총 50건으로 국내 2건 해외 48건이 검색 되었다. Fig. 7은 추출된 년도 별 발표 건수를 나타내었다.

4.2.3 철강소재 고강도강 분야

자동차 부문의 차체 부품 조립시, 대부분 저항 점용접을 사용되는데, 내식성 및 내구성이 요구되어지는 부품에 적용되는 도장도금강판을 용접할 경우, 도장/도금이 녹아 비산되어 접합하고자 하는 부위를 오염시키므로 용접불량이 많이 발생하여 용접성이 현저히 떨어짐과 동시에 용접부의 특성 또한 저하되는 문제점을 갖고 있다. 따라서 기존 용접을 보완한 레이저 용접의 적용의 연구가 증가하고 있다.

R.R.G.M Pieters 등은 DP 600과 H360LA의 소재를 가지고 레이저 출력과 용접속도를 바꿔 입열량 변화에 따른 경도 변화와 미세조직을 관찰하는 연구 발표 하였다[15].

Z.Liu 등은 780MPa 강도의 UHSS 등과 같은 다양한 UHSS 소재를 가지고 Focus position에 따라 용입의 변화를 관찰하였으며 펄스레이저를 이용하여 Duty

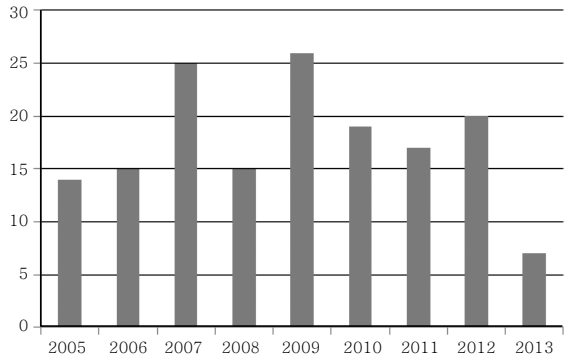


Fig. 6 Yearly presentation of laser welding for aluminium alloy

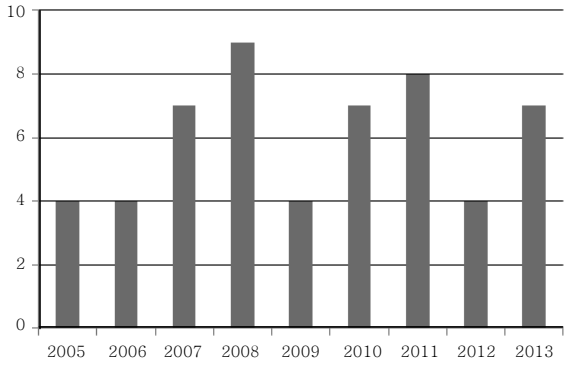


Fig. 7 Yearly presentation of laser welding for magnesium alloy

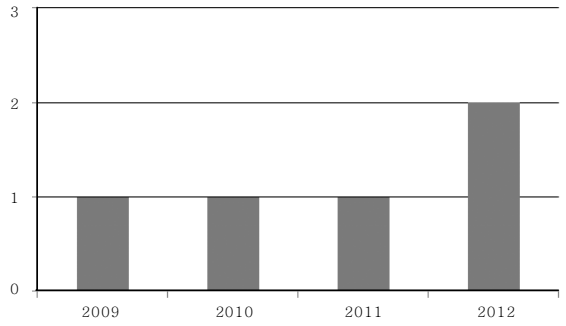


Fig. 8 Yearly presentation of laser welding for DP steel

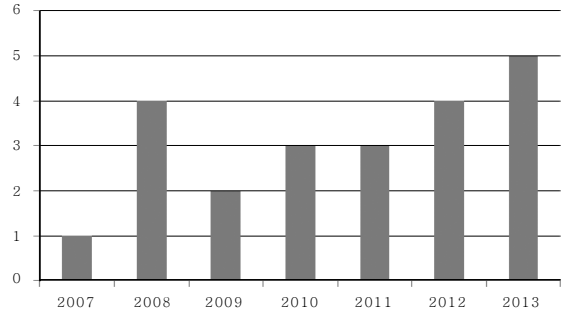


Fig. 9 Yearly presentation of laser welding for galvanized steel

cycle과 Pulse frequency의 영향에 대한 연구 발표하였다[16].

M.S.Xia 등은 아연 도금된 DP980, HSLA 450의 소재를 이용하여 열영향부의 판단 경향을 분석하고 기계적인 특성과 성형 거동을 확인하는 연구를 수행 하였다[17].

DP강과 아연도금강판은 2005년~2013년 발표건수를 분석하면 DP 강에 대한 레이저 용접 연구 발표는 총 5건 이었으며, 2005~2008년도까지는 DP강에 대한 연구 발표 건은 검색 되지 않았다. 또한 아연도금강판에 대한 레이저 용접 연구 발표는 총 29건이었으며, 2005~2006년 아연도금강판에 대한 연구 발표 건은 검색 되지 않았다. Fig. 8, Fig. 9는 DP강과 아연도금강판에 대한 년도 별 발표 건수를 나타내었다.

4. 결 언

본 기술논문에서는 레이저 스티치 용접 기술의 특징, 레이저 스티치 용접성에 미치는 공정변수 영향, 레이저 용접 분야별 연구 동향을 분석하여 레이저 스티치 용접의 연구개발에 필요한 연구 자료를 기술하였다.

1) 자동차산업분야에서 국제적인 환경규제가 더욱 엄격해지고, 국내·외 자동차 산업체에 있어서 자동차 경량화기술의 확보에 대한 필요성이 더욱 고조되면서 레이저 접합기술의 필요성 역시 더욱 강조 될 것으로 전망된다.

2) 레이저 스티치 용접은 유럽, 일본 미국등과 같은 선진국 자동차산업 분야에서 개발단계를 마치고 상용화에 이르렀으나 차체 전반에의 레이저용접 활용을 확대기 위한 연구들은 거의 미미하기 때문에 체계적인 기술개발 필요성이 요구 된다.

3) 국내·외 레이저 용접 분야별 연구 건수의 비율은 알루미늄 합금이 65% 마그네슘 합금 20% 철강소재 15% 순으로 나타나 자동차 경량소재의 레이저 용접 연구가 활발히 진행되고 있으나, 국내 경량소재의 레이저 연구는 해외 연구 수준에 10%에도 미치지 못하고 있는 실정이며, 경량소재 합금의 대한 레이저용접 연구가 시급히 필요한 실정이다.

후 기

이 논문은 2012년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

Reference

1. H. T. Kim , S. C. Kil : Trend of Laser Beam Welding Technology. 2011 Dec. 09, 481~484
2. Hyeong-il Kim, Han-Sur Bang Hee-Seon Bang Byung Ho Ahn : Mechanical Characteristics on welded Joints of Automative Cowl by Nd:Yag Laser Stitch Welding. Journal of the KWJS, 2012. 11 58~58
3. K. C. Kim, K. H. Lee, and M. Y. Lee : Laser Weldability of Sheet Steels for Tailored Blank Manufacturing Journal of the KWS, **16-1** (1998), 77~87 (in Korean)
4. C. M. Allen : Laser Welding of Aluminium Alloys Principles and Applications, TWI Report 759/2004, 2004
5. Cheol hee Kim, Young-Nam Ahn and Hyun Sik Lim : Laser Welding of Automotive Aluminum Alloys Journal of the KWJS, **29-4**(2011), 21-26 (in Korean)
6. A. Matsunawa, M Muzutani and S. Katayama : Porosity Formation Mechnism and its Prevention in Laser Welding, Welding International, **17-6** (2003) 431-437
7. J-H. Cho, D. F. Farson and M. J. Reiter : Analysis of Penetration Depth Fluctuations in Single-mode Fibre Laser Welds, Journal of Physics D: Applied Physics, **42-11**(2009), 1-8
8. Y. Arata, N Abe and T. Ode : Fundamental Phenomena in high power CO_2 Laser Welding (II), Trans JWRI **14-1** (1984), 5-11

9. K. C. Kim and E. P. Yoon : Observation of laser induced plasma during welding of steel plate, Proc. of the Joining of Materials, JOM **7** (1996), 307-314
10. E. Beyer, K Behler and G Herziger : Plasma absorption effects in welding with CO_2 Laser, SPIE **1020** (1998), 84-95
11. J. D. Kim, Ch. J. Lee, M. K. Song : Characteristics of Fiber Laser Welding on STS304L for GTT MARK III Membrane. Journal of the Korean Society of Marine Engineering **36-7** (2012), 1069-1075
12. M. Y. Lee, Ch. S. Seon and W. S. Chang : Trends in Application of magnesium Alloy and Its Welding Characteristics with Laser. Journal of the KWJS, **25-5** (2007), 10 29~35 (in Korean)
13. Nakata, K., Welding of Magnesium Alloys using Cabon Dioxide Gas Laser, New Technology Japan, **22-11** (1995)
14. Marya, M and Edwards, G. R., Welding Variable Effects on the AZ91 Laser Weld Microstructure, 81st American Welding Society Annual Meeting, Chicago, IL (2000)
15. R. R. G. M. Pieters, M. Y. Krasnoperov, M. Ricardson : Laser Welding of High Strength Steel, International Congress oon Applications of Laser Electro-Optics, Laser Material Processing Conference, **522**(2003), 294-303
16. Z. Liu, M. Kuysuna, G. Xu : Fiber Laser Welding of 780MPa High Strength Steel, International Congress on Application of Laser Electro-Optics, Laser-Optics, Laser Material Processing Conference, **1101**(2006), 562-568
17. M. S. Xia, M. L. Kunts, Z. L. Tian, Y. Zhou : Failure Study on Laser Welds of dual Phase Steel in Formability Testing, Science and Technology of Welding and Joining, **13-4**(2008), 378-386

• 주성민
• 1973년생
• 포항산업과학연구원
• 용접공정 및 설계
• e-mail : joo@rist.re.kr

• 방희선
• 1971년생
• 조선대학교 선박해양공학과
• 용접공정 및 설계
• e-mail : banghs@chosun.ac.kr

• 한준의
• 1985년생
• 조선대학교 선박해양공학과
• 용접공정 및 설계
• e-mail : onlyhan1336@hanmail.net

• 김경학
• 1986년생
• 조선대학교 선박해양공학과
• 용접공정 및 설계
• e-mail : kimkh@chosun.ac.kr

• 안병호
• 1961년생
• (주)광일기공
• 공정개발
• e-mail : ctrbow@empal.com