



February 2015 Master's Thesis

Mechanical Characteristics on Welded Joints of Automotive Fender Apron by Nd:YAG Laser Stitch Welding

Graduate School of Chosun University

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering

Guo-cheng Zheng



Mechanical Characteristics on Welded Joints of Automotive Fender Apron by Nd:YAG Laser Stitch Welding

레이저 스티치 용접을 적용한 자동차 펜더 용접부의 기계적 특성

February 25, 2015

Graduate School of Chosun University

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering

Guo-cheng Zheng





Mechanical Characteristics on Welded Joints of Automotive Fender Apron by Nd:YAG Laser Stitch Welding

Advisor : Professor Han-Sur Bang

A Thesis submitted for the degree of Master of Engineering

October 2014

Graduate School of Chosun University

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering

Guo-cheng Zheng





Guo-cheng Zheng's master thesis is certified.

Commitee Chair Chosun Univ. Prof. Han-Sur Bang

Member Chosun Univ. <u>Prof. Hee-Seon Bang</u>

Member Gyeongbuk HYBRID Technology Institute. Prof. Young-Gak Kweon

November 2014

Graduate School of Chosun University





CONTENTS

List of Figures	IV
List of Tables	VI
Abstract	VII

Chapter 1. 서론

1	•	1	연구배	경 및	목적	• • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • •		•••••	1
1	•	2	레이저	스티	치 용접의	특징	•••••	•••••	• • • • • • • • • • • •	•••••	2
1	•	3	자동차	펜더	에이프런	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	3

Chapter 2. 이론적 배경

2 . 1 레이저의 원리 및 특성
2.1.1 레이저의 원리4
2.1.2 레이저 빛의 특성6
2 . 2 Nd:YAG 레이저 용접7
2.2.1 Nd:YAG 레이저7
2.2.2 Nd:YAG 레이저 용접 공정변수8
2 . 3 레이저 스티치 용접 국내외 적용분야9
2 . 4 사용 재질특성
2.4.1 냉연강판
2.4.2 아연도금강판





Chapter 3. 실험방법

3.1	실험장치
3.2	시편규격
3.3	레이저 스티치 용접조건
3.4	전단시험
3.5	경도측정
3.6	미세조직 관찰
3.7	EN ISO(13919-1)규격

- || -





List of Figures

Flg 1.	1 Laser stitch welded specimen2
Flg 1.	2 FENDER APRON (F/A) ······3
Fig 2.	1 Component of laser4
Fig 2.	2 Pumping of laser5
Fig 2	3 Schematic of Nd:YAG Laser7
Fig 2	4 Laser stitch welidng application for Audi Q710
Fig 2	5 Laser stitch welidng application for Infiniti G3510
Fig 2	6 Manufacturing process of cold rolled sheet12
Fig 3.	1 CW Nd:YAG laser welding equipment15
Fig 3.	2 Schematic diagram of specimen16
Fig 3.	3 Experimental setup for laser stitch welding
Fig 3.	4 Process of shear test19
Fig 3.	5 Micro vickers hardness tester
Fig 3.	6 Optical Microscope22
Fig 4	1 Bead appearance and cross section of laser stitch welded
	joints or various welding speeds and power
Fig 4	2 Tensile-shear test result of laser stitch welded joints with
	bead length
Fig 4	3 Tensile-shear test result of laser stitch welded joints with
	welding speed
Fig 4	4 Fractured specimen after tensile-shear test
Fig 4	5 Optical microstructures of laser stitch welded joints : center
	of fusion zone, HAZ, base metal for Type 1
Fig 4	6 Optical microstructures of laser stitch welded joints : center
	of fusion zone, HAZ, base metal for Type 2
Fig 4	7 Optical microstructures of laser stitch welded joints : center

- ||| -

Collection @ chosun



	of fusion zone, HAZ, base metal for Type 3
Fig 4.8	Hardness profiles of cross section of laser stitch welded
	joints 37





List of Table

Table	2.1	Application of laser welding for korean auto-mobile manufacturers
		11
Table	3.1	Specification of laser welding equipment
Table	3.2	Type of welding specimen16
Table	3.3	Demension of specimen16
Table	3.4	Mechanical properties of material used16
Table	3.5	Chemical composition of material used17
Table	3.6	Welding parameters for laser stitch welding
Table	3.7	Micro vickers hardness tester
Table	3.8	Welding defect standard for electron beam and laser welding
		(EN ISO 13919-1)
		23



ABSTRACT

레이저 스티치 용접을 적용한 자동차 펜더 용접부의 기계적 특성

Guo-cheng Zheng

Advisor : Prof. Bang, Han-sur, Ph.D. Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Graduate School of Chosun University

Recently from the automatic industry is caused by with continued ratio improvement and, CO_2 environmental regulation and demand of crash safety reinforcement etc. from the world wide automobile advanced various nations leads a continued these rules and celebration of the environmental characteristic automobile development which hits the high performance and the research and development for a body lightweight and is in parallel and productivity improvement technical etc. is research and development continuously.

weight lightening of car contribute to reduce emitting harmful gas. Nonferrous metal is applied in various industry. But many problems occure aspect of cost, weldability and strength. Laser welding complement drawback of spot welding and has lots of advantages like high bond strength, few deformation. technical development that is applied by laser welding is progressing favorably to retain the safety of car.

Spot welding make indentations after welding and Flange depend on electrode diameter. Also it's hard to apply complicated parts. Laser welding produce good quality products and productivity is high than spot welding but first cost of installation is high. Therefore laser stitch welding is applied to complement fault of spot welding and laser stitch welding. it already applied in Europe of car and applications will be increased in the world gradually.

In this study, 3types Galvanized sheet iron(Type1: 1.4t SGARC 440/2.0t SGARC 440, Type2: 1.4t SGAFC 590/2.0t SGARC 440, Type3: 1.4t SGARC 440/1.4t SGAFC 590) Nd: YAG Laser Welded Lap Joint by Laser

– VI –





Stitch Welding Weldability study results, the following conclusions could be drawn. The optimum conditions for laser stitch welded joints of SGARC440 and SGAFC590 is laser power of 2kW, welding speed of 4m/min shieding gas of 15ℓ /min, focal length of +1mm. The shear stength of laser stitch welded joints about 19.91KN, 20.84KN, 16.55KN, and the welding defect standard(EN ISO13191-1) for quality levels is Stringent(B). Looking at the distribution of hardness with excellence and laser welding of Galvanized sheet iron effect of hardness of the substrate during the process of the heterogenous characteristics make of them showing a width of the weld metal hardness values. it is that almost seems to have similar characteristics.





제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

최근 세계 각국의 환경 규제 강화와 석유 자원 고갈 및 가격인상 등으로 인해 환 경 친화형 자동차 개발에 대한 요구가 점차 심화되고 있고, "저탄소 녹색성장 기본 법"의 CO₂ 배기가스 규제 강화의 일환으로 이산화탄소 배출 기준을 2015년 이후 에 생산된 차량은 140g/km 기준안을 만족해야하며, 이러한 목표치 초과차량에 대한 부과금 제도를 검토하고 있어 연비향상을 위 한 기술 개발이 이루어지지 않 으면 세계 자동차 시장에서 점유율이 하강할 수 있으며, 심지어 퇴출까지도 이루어 질 수 있다.

또한 천연가스, 에탄올 등의 대체에너지와 순수 전기 에너지를 사용하는 자동차는 주행거리의 한계 및 인프라 구축 문제, 성능대비 높은 가격 등의 문제로 아직까지 는 보급에 한계가 있다. 이러한 세계적 분위기 속에 배기가스 규제 목표를 달성하 기 위해 경량화에 대한 연구 개발 및 상용화가 가속화 되고 있으며, 경량화 대상 부품들 중에서 차량 총 중량의 25%이상을 차지하는 차체를 경량화 하는 것이 가장 효과적인 방법이다.

이에 생산성향상 및 고품질의 제품을 생산하기 위해 기존에 점용접 대신 레이저 스 티치 용접을 적용하면서 용접부의 강도를 향상 시키고 용접부의 면적을 최소화하여 자동차의 중량을 감소시키고, 또한 빠른 용접속도로 인하여 생산성을 향상시킬 수 있 으며, 용접변형을 최소화하여 고품질의 제품생산을 생산할 수 있으고, 레이저 용접에 비해 전력소모가 적고 복잡한 형상에도 적용 가능한 장점이 있다.

본 연구에서는 자동차 펜더에 적용되는 아연도금강판 SGARC440과 SGAFC590에 레이저 스티치 용접을 실시하여 용접속도 및 비드길이의 변화에 따른 기계적 특성 및 금속학적 특성을 분석하여 레이저 스티치 용접의 산업분야 적용 가능성을 고찰하고자 한다.

- 1 -





1.2 레이저 스티치 용접의 특징

스티치(stitch)용접은 띄엄띄엄 용접하는 방식으로 자동차 용접부 중 점용접과 같 이 일정한 간격을 비슷하게 두고 용접하는 것을 말한다. 현재 유럽에서는 차체용접 으로 사용하며 박판용접 중 Lap joint에 많이 사용되는 용접이다.

레이저 스티치 용접은 기존(점용접) 방식과 달리 비접촉식이므로 홈 너비를 일부 러 늘릴 필요가 없으므로 저항 점용접에 필요한 가용면적을 50%이상 줄일 수 있 고 , 자동차 경량화 및 연비개선, 생산비 절감 등의 효과를 가져온다는 연구가 발 표 되었다.



Fig. 1.1 Laser stitch welded specimen

1.3 자동차 펜더 에이프런

펜더 에이프런(FENDER APRON)은 차량의 FENDER의 안쪽에 있으며, 바퀴와 엔진 룸을 칸막 이한 부분의 차체 부품으로, 흙받기 역할 및 현가장치로부터 전달되는 힘을 지지하며, 많은 부품을 보호함. 차체 전면충돌 시 차량 충격 흡수 및 차량 충돌 밀림 방지 역할을 한다.

- 2 -





펜더에 적용되는 강판은 아연도금강판 소부경화강(Bake Hardening) SGARC440과 SGAFC590으로 레이저 스티치 용접을 실시하였을 때 용접속도 및 비드길이의 변화에 따른 기계적 특성 및 금속학적 특성을 분석고자 한다.





Fig. 1.2 FENDER APRON (F/A)







제 2 장 이론적 배경

2.1 레이저의 원리 및 특성

2.1.1 레이저의 원리

레이저는 기본적으로 세부분으로 이루어져 있다. 광을 발생시키는 매질, 이 매질 을 연결시키기 위한 에너지원(펌핑소스), 그리고 레이저 빛을 모으고 증폭하기 위 한 광공진기로 이루어져 있다.

레이저의 경우에는 높은 에너지 준위에 많은 원자가 머물러 있다가 외부자극에 의하여 강력한 상호작용을 하면서 동시에 낮은 에너지 준위로 떨어지는, 소위 유도 방출(stimulated emission)을 하게 된다. 높은 에너지 준위에 있는 원자의 수가 낮 은 에너지 준위에 있는 원자의 수보다 많은 경우를 밀도반전(population inversion) 이라 하고, 외부에서 에너지를 공급하여 밀도반전을 일으키는 것을 펌핑(Pumping) 이라 한다. 일반적으로 높은 에너지 준위의 원자는 자연방출을 하므로 밀도반전 분 포를 얻기 어렵다. 따라서 레이저에서는 펌핑된 원자가 약간의 에너지를 자연방출 하면서 중간에너지 준위인 준안정상태(metastable state)에 모여 밀도반전을 이루 었다가 적당한 자극에 의해 유도방출을 하게 된다.



Fig. 2.1 component of laser

- 4 -



Fig. 2.2과 같이 펌핑에 의해 에너지를 흡수하면 원자는 기저상태 (E1)에서 여기 상태(E4)로 천이한다. E4에서 머무는 시간은 매우 짧으므로 자연방출에 의해 준안 정상태 E3로 떨어진다. 충분한 수의 원자가 준안정상태 E3에 머물러 밀도반전을 이루면 유도방출에 의해 낮은 에너지 준위 E2로 떨어지고 곧이어 기저상태로 돌아 간다. 에너지 준위 E₂의 원자수가 기저상태 E1의 원자수보다 훨씬 적으므로 E₃와 E₂사이에서 밀도반전 분포를 형성하기에 용이하다. 그림에서 보는 바와 같이 레이 저 작용은 준안정 준위로부터 낮은 준위로 천이할 때 그 에너지 차이에 해당하는 빛이 방출되는 원리를 이용하는 것으로 일정한 파장의 빛만 나오게 된다.



Fig. 2.2 Pumping of laser

발진을 일으키기 위하여 레이저 매질의 양단에 반사거울을 설치한다. 빛이 이 사 이를 무수히 왕복하면서 증폭되는데, 증폭이 손실보다 크면 발진을 일으키게 된다. 이때, 한쪽 거울은 100% 반사(전반사)하도록 만들고 반대쪽 거울에서는 일부분의 빛이 투과하도록 만들면 발진된 빛의 일부가 밖으로 나오게 되므로 레이저광을 얻 을 수 있다. 레이저 매질내에서 초기에 자연방출되는 빛은 사방으로 나가지만, 레 이저 축과 수직인 두 개의 반사거울 사이를 여러번 왕복하는 과정에서 축방향의 빛만 유도방출 과정을 거쳐서 증폭된다. 이와 같이 레이저 빛은 발생과정에서 축방 향의 빛만 나오므로 퍼지지 않고 한 방향으로 멀리까지 갈 수 있다.

- 5 -





2.1.2 레이저 빛의 특성

1) 직진성(지향성): 레이저 빛의 직진성은 앞의 원리에서 설명한 바와 같이 레이저 공진기에서 두 개의 평행한 거울 사이를 수백번 왕복한 다음 공진기에서 나오게 되므로 계속적으로 직진하려는 성질을 유지하기 때문에 나타나는 특성이다. 이 특 성은 레이저 포인트와 레이저 쇼에서 우리가 잘 관찰할 수 있으며 이 성질을 이용 하여 레이저 거리측정, 레이저 레이더, 원격계측 등에 활용한다.

2) 단색성: 레이저 빛은 유도방출 원리에 의하여 원자(분자)의 특정한 에너지 준위 차만 이용하므로 발생하는 빛의 주파수 또는 파장의 분포가 없이 매우 일정하다. 태양광이이나 백열전등에서 나오는 빛을 프리즘을 써서 분산시키면 여러개의 파장 을 가진 빛으로 나누어지지만 레이저 빛은 분산이 거의 없이 일정한 파장의 빛으 로 이루어져 있음을 확인할 수 있다. 이 성질을 이용하여 동위원소 분리, 원격 미 량원소의 측정, 분광분석 등에 응용한다.

3) 고휘도성: 휘도란 단위입체각(solid angle)에서 나오는 빛의 출력밀도(W/m² 또 는 lumens/m²)로 정의되는 물리량으로서 광원의 지향성 및 출력 밀도에 의해 좌우 된다. 빔의 직경이 1mm, 출력 1mW인 헬륨네온 레이저의 휘도는 2x10⁷ lumens/m² 으로 태양의 휘도 1.5x10⁵ lumens/m² 의 100배 이상이 된다. 또한 태 양광의 출력은 가시광선의 스펙트럼 전 영역에 퍼져있으나 레이저는 단색성이 매 우 높으므로 2Å 선폭의 레이저 광의 휘도는 같은 선폭의 태양광의 10만배 이상이 다. 이 특성을 활용하여 다양한 가공(절단, 용접, 천공, 표면처리)과 레이저 무기, 핵융합 등에 레이저 빛을 활용한다.

4) 가간섭성: 가간섭성 또는 Coherence는 대단히 높은 규칙성, 시간적이나 공간적 으로 예측할 수 있는 성질을 의미하는 용어로서, 어떤 광원의 빛이 시간과 공간영 역에서 완전히 코히런트(coherent)하면, 임의의 두위치에서의 전계의 변화는 높은 상관관계(correlation)를 가지게 된다. 레이저는 파장, 위상, 편광 등이 균일하게 잘 정돈된 전자기파이므로 매우 높은 가간섭성을 가지고 있다. 이 성질은 레이저를 이 용한 홀로그래피, 미소변위 및 진동 해석, 비파괴 검사 등에 활용된다.

- 6 -





2.2 Nd:YAG 레이저 용접

2.2.1 Nd:YAG 레이저

레이저 발진물질로서 YAG(Yttrium Aluminium Garnet, Y₃Al₅O₁₂)를 이용하는 고체 레이저를 말한다. 원형 막대모양의 YAG에는 레이저 발진효율을 높이기 위하여 Nd 가 첨가되어 있다. Nd:YAG 레이저의 대표적 출력파장은 1,060nm이지만, 532nm, 355nm 및 266nm의 분할된 파장을 낼 수도 있다. Nd:YAG 레이저는 Q-스위치 레 이저로도 이용되고 있으며, 재료 가공용 Nd:YAG 레이저는 연속파로서 수Kw의 출 력을 가진 레이저가 사용된다. 광 선유(optical fiber)로 전송할 수 있는 특성이 있 으므로 로롯을 이용한 자동화가 쉽다는 강점이 있다.



Fig. 2.3 Schematic of Nd:YAG Laser

- 7 -





2.2.2 Nd:YAG 레이저 용접 공정변수

레이저 용접은 공정변수가 민감하며, 특히 금속과의 상호작용이 중요한 변수로 작 용하기 때문에 레이저빔에 의한 금속재료의 반사율, 흡수율 특성 및 표면가공 상태 에 따라 용접성이 다르게 나타난다.

1) 레이저 출력 및 용접 속도의 영향

레이저 용접은 키홀 용접으로 레이저의 출력이 증가하면 키홀의 크기가 증가하여 키홀 벽면에서 다중흡수·반수 현상이 발생하면서 인입되는 입영량이 증가한다. 고 에너지 밀도를 갖는 레이저빔이 시편에 조사되면 키홀이 열리고 레이저빔이 이동 하면 키홀 뒷부분에서 응고가 시작되면서 키홀이 닫혀지게 된다. 키홀을 열리게 하 는 레이저의 출력과 키홀이 닫히게 되는 레이저빔의 이송속도에 따라 용접결과가 달라지게 된다. 따라서 양호한 레이저 용접의 품질을 확보하기 위해선 레이저빔의 출력, 이송속도를 기본으로 하고 재료의 반사율, 표면상태가 용접결과에 큰 영향을 미치지 못하게 해야 한다. 레이저 용접 공정변수로는 레이저 출력(Kw), 용접속도 (m/min), 초점거리(mm), 보호가스(ℓ/min) 등 이 있다.

2) 초점거리의 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 이상으 로 재료내부(-방향)에 존재하면 용입비가 저하한다. 따라서 초점위치를 정확히 선 정하여 에너지 밀도를 높임으로써 단 시간에 키홀 형성조건을 만들어 레이저의 흡 수율을 높일 필요가 있다. 또 적정한 초점위치는 재료의 종류나 두께에 따라 약간 의 차이가 있는데 이 이유는 초점의 위치에 의하여 키홀 형성기구가 변하면서 레 이저 빔 과 재료와의 상호작용에 영향을 주기 때문이다.

- 8 -





3) 보호가스의 영향

레이저 용접에서 보호 가스는 용융금속의 산화를 막을 목적으로 이용되는 것 이 외에도 용접 스패터로 부터 접속 광학계를 보호하며, 특히 용접시 발생하는 플라즈 마를 억제 또는 제거하기 위한 역할이 중요하게 다루어지고 있다. 이러한 보호 가 스는 종류와 유량압력이 용접부 형성에 영향을 미치는데, 통상 He, Ar 및 N₂등이 사용된다. 이중에서 He은 이온화 에너지가 높으므로 플라즈마 형성 측면에서 유리 한 기체로 알려져 있으나, 가격이 비싸기 때문에 적가의 Ar이 더 일반적이다. 한 편, 박판이라는 특성은 질소와 같이 아크용접에서는 금기시되는 기체를 용접에 이 용하거나, 용입 효율서는 금기시되는 기체를 용접에 이용하거나, 용입 효율을 높이 기 위한 혼합가스에 사용에 관하여도 보고되고 있다.

2.3 레이저 스티치 용접 국내외 적용분야

1) 국외 레이저 용접 관련기술의 현황

- 레이저 용접 기술 연구 현황을 살펴보면, 이미 유럽이나 북미, 일 본의 자동차 업계에서는 레이저를 이용한 용접을 수행함으로써 차체 조 립라인의 공정 수를 줄이는 동시에 차체의 강도 향상 및 차체의 경량화 를 꾀하고 있으며, 최근에는 초고강도강에 대한 용접/접합기술에 대한 기 초연구를 진행하고 있다.
- 아우디(Audi)는 알루미늄 차체개발을 활발히 진행하면서 점용접 적용의 어려움
 으로 레이저용접을 활용하고자 Fig. 2.4와 같이 Audi Q7은 roof side에 레이저
 스티치 용접을 4.4m 적용하였으며, Audi TT 모델은 5.3m 길이에 레이저 용접
 을 적용하였다.
- 일본 인피니티(Infiniti)는 Fig. 2.5와 같이 G35 모델차체 일부 영역을 점용접으 로 대체한 roof side에 레이저 스티치 용접 및 rail, door 등에 레이저 용접을 적용하여 차체강성을 향상 시켰으며 중량을 1.5kg 감소시켰다.

- 9 -







Fig. 2.4 Laser stitch welidng application for Audi Q7



Fig. 2.5 Laser stitch welidng application for Infiniti G35

- 1) 국내 레이저 용접 관련기술의 현황
- 국내 레이저 용접기술은 TWB 소재 제작에 주로 적용 되고 있다. 1999년 TWB 레이저용접 기술이 도입되어 자동차 door inner에 양산 적용되었고, 2001년 TWB 레이저용접 시스템이 국산화 개발 되었으며, Nd:YAG 레이저를 이용한 차 체 레이저 용접 기술이 차체부품 조립라인에 적용했다.

- 국내 자동차 업계 현대·기아 자동차가 차체에 레이저 용접을 적용 한 것으로

- 10 -





그랜저 XG 및 소나타의 door side line을 용접하였으나, 레이저용접은 차체의 일부분에 국한되어 적용되고 있는 상황이며 고강성·고안전 차체 개발 목적으로 차체 전반에의 레이저용접 활용을 확대하기 위한 연구들은 거의 미미하기 때문 에 이에 대한 연구가 시급히 필요한 실정이다.

 자동차 모듈부품 제조업체에서는 단품의 조립에 레이저 용접기술이 활용되고 있으나 레이저 용접은 높은 기술을 요구하기 때문에 국내에서는 레이저 용접을 전문으로 하는 업체가 많지 않은 것이 현실로, 국내 자동차 업계에서도 체계적 인 기술 개발 필요성이 요구되고 있다.

Table 2.1 application of laser welding for korean automobile manufacturers

업체명	적용 부위	적용 차종	적용 레이저
		LAVITA	
허미.기이	Door side line	TUSCANI	4kw
자동차		GRANDEUR XG	Nd:Yag
		SONATA	
	tail gate	SANTAFE	6kw Co ₂

2.4 사용 재질특성

2.4.1 냉연강판

생연강판(Cold Rolled Steel)은 원재료인 열연강판(Hot Rolled Coil)을 상하로 누 르는 힘을 주어 원하는 두께로 압축하여 만들어낸 강판이다. 강판의 상세 구분에 따라 철판을 상하로 압축하는 공정 이후로 아연(Zn) 금속을 녹이거나 혹은 전기적 인 방식으로 표면에 도금하여 만들어낸 도금제, 표면에 페인트를 입혀서 만들어 내 는 등 방식들이 있다. 이렇게 만들어진 냉연강판은 자동차용 소재 및 컴퓨터 케이 스를 비롯, 백색가전 제품 전반, 각종 건축자제 등 광범위하게 실생활과 밀접한 용 도에 널리 쓰이고 있으며, 우리 생활과 가장 가까운 제품들에 사용되는 철의 한 형

- 11 -





태이다. Fig 2.6은 냉연강판 제조공정을 나타낸 것이다.



Fig. 2.6 Manufacturing process of cold rolled sheet

- 12 -





2.4.2 아연도금강판

아연도금강판(Galvanized Steel Sheet, Zinc Coated Steel Sheet, 일명 아연도강 판)은 아연을 도금한 강판 전체를 총칭하는 것으로 그 제조방법에 따라 용융아연도 금강판(Hot Dipped Galvanized -Iron, HDGI, CGI, GI)과 전기도금아연강판 (Electrolytic Galvanized Iron, EGI)으로 대별된다.

용융아연도금강판은 순아연도금 이외에 합금화용융아연도금강판(Galvannealed Steel Sheets, GA), 갈바륨강판 및 갈판 등의 용융아연알루미늄합금도금강판 등이 있으며 전기아연도금강판은 순아연도금 이외에 아연철, 아연-니켈 등 전기아연합 금도금강판이 있다. 여기서는 용융아연도금강판을 중심으로 설명하기로 한다. 생활 수준 향상에 따라 강판에 대한 수요가 늘어나는 추세를 보이고 있으며 철의 최대 단점인 녹을 방지하고 철의 장점인 강성과 경제성을 최대한 살릴 수 있는 표면처 리강판의 수요가 크게 늘어나고 있다. 그 중 아연도강판은 경제성 있는 도금성과 뛰어난 희생방식성을 갖고 있는 강판으로 각광받고 있다.



Fig. 2.7 characteristic of Galvanized steel and Galvannealed steel

- 13 -





제 3 장 실험방법

3.1 실험장치

본 연구의 레이저 용접을 위해 구축된 시스템의 전경을 Fig. 11에 나타내었으며, 사용된 Nd:YAG 용접기의 평균 유효출력은 3KW인 연속파(Continuous Wave: CW) 이며 레이저 파장은 1.06µm, 레이저빔은 직경이 600µm이고 용접은 초점거리 (Focal Length) 223mm의 용접렌즈를 사용하였다. 본 시스템의 구체적인 사양은 Table 3.1와 같다.

Manufacture model	Trumpf laser HL3006D	
Туре	Nd:YAG lamp pumped	
Max output	4,000W	
Laser power	3,000W	
Beam quality	25	
Laser beam cable (micrometers)	600	

Table 3.1 Specification of laser welding equipment

- 14 -







Fig. 3.1 CW Nd:YAG laser welding equipment

3.2 시편 규격

본 연구에서 Table 3.2에 나타낸바와 같이 두께 1.4, 2.0(mm)의 SGARC440와 1.4(mm)의 SGAFC590 강을 이용하여 3종류의 겹치기용접을 Nd:YAG 레이저를 이용하여 레이저 스티치용접을 실시하였다. 용접 시험편은 한국산업규격인 저항점용접 이음의 전단시험에 대한 시험편 치수 및 시험방법(KS B 0851)에 의거하여 Fig 3.2 및 Table 3.3에 나타낸 것과 같이 제작하였다. 시험편 상세 제원은 길이 120(mm), 폭 40(mm), 두께는 1.4 또는 2(mm), 판재 겹침 폭을 35mm로 하였다. 사용된 재질의 기계적 성질과 화학조성은 Table 3.4와 Table 3.5에 나타내었다.

- 15 -





Table 3.2 Type of welding specimen

Type 1	1.4t SGARC440 / 1.4t SGAFC590
Type 2	1.4t SGARC440 / 2.0t SGARC440
Туре З	1.4 tSGAFC590 / 2.0t SGARC440

Table 3.3 Demension of specimen

Standard	Width(B)	Overlaped length(W)	Distance of clamp(A)
KS B 0851	40	35	95



Fig. 3.2 Schematic diagram of specimen

Material	Y.S (N/mm2)	T.S (N/mm2)	Elongation (%)			
SGARC440	321	447	38			

668

26

449

	Table	3.4	Mechanical	properties	of	material	used
--	-------	-----	------------	------------	----	----------	------

- 16 -



SGAFC590



Table 3.5 Chemical composition of material used

Material	Chemical Composition(Wt%)					
Wateria	С	Si	Mn	Р	S	S-AL
SGAFC590	0.0802	0.201	1.922	0.02	0.004	0.026

(1) SGAFC590 Chemical composition

Material	Chemical Composition(Wt%)						
	С	Si	Mn	Ρ	S	Sol-Al	
	690	23	1.317	23	5	53	
SGARC440	Cr	Ni	В	Cu	Ν		
	300	1	1	1	38		

(2) SGARC440 Chemical composition

3.3 레이저 스티치 용접조건

레이저 스티치 용접시 주요공정 인자로 입사각(Angle beam incidence), 레이저 출력(Laser power), 용접속도(Welding speed), 용접의 시점 및 종점(Teaching points), 초점거리(Focusing length)를 고려하였다.

보호가스는 불활성 가스인 아르곤(Ar)을 이용해 공기를 차단하여 용접 시 산화되는 것을 방지하도록 하였다. 보호가스 유량 및 초점위치는 예비실험에서 얻은 적정 조건을 사용하였다.

겹치기용접을 하기 전에 최적의 용접조건을 결정하기 위해 판재에 대한 비드 온 플레이트(Bead On Plate : BOP) 용접을 실시하였다. 비드 온 플레이트 실험결과 로부터 종횡비가 큰 용접공정변수를 결정하고 종횡비가 가장 큰 공정변수를 기준

- 17 -



으로 레이저 빔 이송속도를 변화시켜 겹치기용접을 실시한 후 레이저 빔 이송속도 와 용접비드의 관계를 고찰하였다. 이때 레이저 출력을 2/2.5KW로 설정한 후 용접 속도(1/2m/min)에 따른 용입 특성을 고찰하였다. 실험에 사용된 레이저 실험조건 은 Table 3.6에 나타내었다.

레이저 출력 (kw)	2, 2.5
초점거리 (mm)	+1
용접속도 (m/min)	1.0, 1.5, 2.0
보호가스 (ℓ/min)	Argon 15
비드길이 (mm)	12, 16, 20

Table 3.6 Welding parameters for laser stitch welding



Fig. 3.3 Experimental setup for laser stitch welding

- 18 -





3.4 전단시험

전단하중 측정은 SHIMAZU사 EHF-EG200KN-40L 유압식을 사용하였으며, WIN SERVO 프로그램을 이용하였다.

시험편은 한국산업규격인 저항점용접 이음의 전단시험에 대한 시험편 치수 및 시 험방법(KS B 0851)에 의거하여 와이어 컷팅 방식으로 채취하였다.



Fig. 3.4 Process of shear test

- 19 -





3.5 경도측정

경도기는 Akashi HM-112 마이크로 비커스경도 시험기을 사용하였으며, 측정하중 500gf, 하중시간 10sec조건으로 용접부 단면의 횡방향으로 0.5mm 간격으로 경도를 측정하였다. Fig 3.5 와 Table 3.7은 비커스경도 시험기 및 시험기 타입을 나타낸 것이다.



Fig. 3.5 Micro vickers hardness tester

- 20 -





Table 3.7 Micro vickers hardness tester

	Values
Model Akashi HM-112	
Туре	Micro vickers hardness tester
Load	0.5kgf
Loading time	10sec

3.6 미세조직 관찰

레이저 스티치 용접을 적용한 아연도금강판 SGARC440 과 SGAFC590 접합부의 미세조직 분석을 위하여 접합부의 횡단면을 광학현미경으로 관찰하였다. 광학현미 경을 통한 접합부의 조직을 관찰하기 위해 시편을 절단하고 마운팅 하여 경면연마 작업을 실시하였다.

경면연마 작업을 마친 시편을 질산4%, 에탄올96%의 나이탈(Nital) 부식액을 이용 하여 5초동안 에칭을 한 후 흐르는 물 또는 증류수로 세척하여 광학현미경으로 조 건별 단면 미세조직 특성을 분석하였다. Fig 3.6 은 본 실험에 사용된 OLYMPUS 사의 광학현미경을 나타낸 것이다.

- 21 -







(1) Optical Microscope 1



(2) Optical Microscope 2 Fig. 3.6 Optical Microscope

- 22 -





3.7 EN ISO(13919-1) 규격

얻어진 레이저 용접부의 비드 특성을 정의하기 위하여, Table 3.8의 Welding defect standard (EN ISO 13919-1) for electron beam and laser welding에 의 거하여 비드의 특성을 4가지(Reinforcement, Back bead, Undercut, Continuity of bead width)로 구분하여 수준은 3단계(양호, 불량, 매우 불량)로 평가하였다.

Imperfection	Limits for ir	nperfections for c	uality levels
designation	Moderate(D)	Intermediate(C)	Stringent(B)
Undercut	h≤0.15t or 1mm, Whichever is the smaller	h≤0.1t or 0.5mm, Whichever is the smaller	h≤0.05t or 0.5mm, Whichever is the smaller
Excess weld metal	h≤0.2mm+0.3t or 5mm, Whichever is the smaller	h≤0.2mm+0.2t or 5mm, Whichever is the smaller	h≤ 0.2mm+0.15t or 5mm, Whichever is the smaller
Excessive penetration	h≤0.2mm+0.3t or 5mm, Whichever is the smaller	h≤0.2mm+0.2t or 5mm, Whichever is the smaller	h≤ 0.2mm+0.15t or 5mm, Whichever is the smaller
Incompletely filled groove	h≤0.3t or 1mm, Whichever is the smaller	h≤0.2t or 0.5mm, Whichever is the smaller	h≤0.1t or 0.5mm, Whichever is the smaller

Table 3.8 Welding defect standard for electron beam and laser welding (EN ISO 13919-1)

- 23 -



제 4 장 레이저 스티치 용접을 적용한 용접부의

기계적 및 금속학적 실험결과 및 고찰

4.1 용입 특성 및 용접부 결함

1) Fig 4.1은 레이저 겹치기 용접부의 속도 대비 용입깊이 결과를 나타낸 것으로, 비드의 특성을 4가지(Reinforcement, Back bead, Undercut, Continuity of bead width) 관점으로 수준은 3단계(양호, 불량, 매우 불량)로 평가하였다. 접합조건은 레이저 출력 2/2.5(kw), 초점거리 +1(mm), 보호가스 Ar 15(ℓ/min)에서 용접속도 1, 1.5, 2m/min이다.

2) 용접부의 비드특성을 살펴보면, 모든 조건에서 표면기공, 크랙과 같은 표면 결 함은 관찰되지 않았으며 용접속도가 증가할수록 비드 폭과 용입 깊이가 감소함을 나타내었다. 용접속도 1m/min에서는 완전 용입을 얻을 수 있었으나 용접속도가 증 가하여 1.5m/min 이상일 때는 용입 깊이가 감소하여 불완전한 부분 용입이 발생 하였다. 용접속도 1.5/min의 조건에서는 백 비드, 균일한 비드 면이 형성되었으나 적절한 여성(Reinforcement)을 확보할 수가 없었다.

3) Fig 4.1에서 보듯이 용접속도 1m/min에서는 적절한 용입(Reinforcement, Undercut, Continuity of bead width, Back bead) 및 가장 안정된 비드를 나타내며, 용접부에 대한 비드특성을 3가지 관점에서 수준 1단계에 해당되는 "양호"의 수준 으로 평가되는 건전한 용접 부를 확보할 수 있었다.

- 24 -





Welding speed (m/min)	Power (kW)	Bead appearance	Back bead	Cross section
1.0	2	and the co		
1.5	2	(internet)		
2.0	2		Grand -	

(1) Type1: 1.4t SGAFC590 / 1.4t SGARC440

Welding speed (m/min)	Power (kW)	Bead appearance	Back bead	Cross section
1.0	2.5			
1.5	2.5			
2.0	2.5			

(2) Type2: 1.4t SGARC440 / 2.0t SGARC440







Welding speed (m/min)	Power (kW)	Bead appearance	Back bead	Cross section
1.0	2.5	(Calendary)	(
1.5	2.5	Camalance		
2.0	2.5		C	

(3) Type3: 2.0t SGARC440 / 1.4t SGAFC590

Fig. 4.1 Bead appearance and cross section of laser stitch welded joints for various welding speeds and power

4.2 전단시험 결과

1) Fig 4.2는 전절에서 도출된 적절한 용입(Reinforcement, Undercut, Continuity of bead width) 및 가장 안정된 비드를 나타내는 조건에서, 비드길이(12mm, 16mm, 20mm)에 따른 용접부의 인장-전단강도 특성을 나타낸 것이다.

2) 전절에서 도출된 적절한 용입조건 즉, 용접속도 1m/min하에 해당하는 조건하 에 용접을 실시하였다. 그 결과 비드길이 20mm에서 3 Type의 1.4t SGARC 440 / 2.0t SGARC 440, 1.4t SGAFC 590 / 2.0t SGARC 440 및 1.4t SGARC 440 / 1.4t SGAFC 590 모두 최고 전단하중 19.91kN, 20.84KN, 16.55KN의 값을 얻을 수 있었다.

3) Fig 4.3은 가장 높은 인장-전단강도 값을 나타내는 비드길이 20mm에 대한 최 적의 용접속도를 선정하기 위해, 용접속도 1~2m/min 변화에 따른 인장-전단강도

- 26 -





특성을 고찰하였다. 인장-전단강도 특성을 살펴보면, Type1: 1.4t SGARC 440 / 2.0t SGARC 440의 최고 전단하중은 용접속도 1m/min에서 19.91kN을 나타내었고, Type2 : 1.4t SGAFC 590 / 2.0t SGARC 440의 최고 전단하중은 용접속도 1m/min에서 20.84kN을 나타내었으며, Type3 : 1.4t SGARC 440 / 1.4t SGAFC 590의 최고 전단하중은 용접속도 1m/min에서 16.55KN을 나타냈다.

4) 인장-전단시험 시 파단은 용접속도 1m/min에서는 Fig 4.4에 나타낸바와 같이 용 융부에서 버튼파단이 발생하였고 용접속도 1.5~2m/min에서는 입열량 부족으로 미 용융부에서 계면파단이 발생하였다.



- 27 -









- 28 -

Collection @ chosun





(2) Type2: SGARC440 2.0t / SGARC440 1.4t

- 29 -











(1) Welding speed 1m/min

- 30 -







(2) Welding speed 1.5m~2m/minFig. 4.4 Fractured specimen after tensile-shear test

4.3 미세조직 특성 및 경도측정 결과

4.3.1 미세조직 관찰 결과

Fig 4.5, 4.6 및 4.7은 각 영역에 해당하는 미세조직을 관찰한 것으로, 용융부와 본드라인 근처를 비교하여 보면, 용융부는 응고조직의 특징인 주상정 형태이며 마 르텐사이트 조직으로 이루어져 있음을 관찰 할 수 있다. 열영향부는 다각형으로 구 성된 마르텐사이트 조직이며, 모재에 비하여 조직이 조대함을 알 수 있다. 그러나 Type 2/Type 3의 2.0t SGARC440 열영향부에서는 결정립의 조대화 현상이 그다 지 크게 나타나지 않았다.

- 31 -















(2) Type 1: SGARC440 1.4t / SGAFC590 1.4t 열 영향부





(3) Type 1: SGARC440 1.4t / SGAFC590 1.4t 용융부 Fig. 4.5 Optical microstructures of laser stitch welded joints : center of fusion zone, HAZ, base metal for Type 1

- 32 -















(2) Type 2: SGARC440 1.4t / SGARC440 2t 열 영향부





(3) Type 2: SGARC440 1.4t / SGARC440 2t 용융부 Fig. 4.6 Optical microstructures of laser stitch welded joints : center of fusion zone, HAZ, base metal for Type 2

- 33 -









(1) Type 3: SGAFC590 1.4t / SGARC440 2t 모재





(2) Type 3: SGAFC590 1.4t / SGARC440 2t 열 영향부





(3) Type 3: SGAFC590 1.4t / SGARC440 2t 용융부 Fig. 4.7 Optical microstructures of laser stitch welded joints : center of fusion zone, HAZ, base metal for Type 3

- 34 -





4.3.2 경도 분포

1) Fig 4.8은 최고 인장-전단강도값을 나타내는 용접속도 1mm/min, 비드길이 20mm 대한 용접부의 경도분포를 나타낸 것이다. 용접부의 경도분포는 용접시편의 상부표면으로부터 용접부 단면의 횡방향으로 0.5mm 간격으로 측정하였으며, 용접 부를 용융부, 열영향부 I, II로 구분하여 고찰하였다.

2) 3 Type의 용접부의 경도 분포를 살펴보면, 용착금속 용융부에서의 급격히 증 가하여 모재대비 약 90%정도 증가하여 최대 경도값을 보이고 열향부에서는 약 40%정도 증가하는 특성을 보였다. 이는 레이저 용접의 빠른 냉각속도 때문인 것으 로 판단되며, 최대 경도값 모두 허용범위 안에 해당하는 값을 나타냈다.

3) Type 1에서 SGAFC590의 최대 경도값은 190Hv로 용융부에서 발생하였으며 모재에서 최저 경도값 90Hv을 나타내었고, SGARC440에서의 최대 경도 값은 211Hv로 용융부에서 발생하였으며 열영향부에서 최저 경도값 120Hv를 나타냈다.

4) Type 2에서 SGARC440(Top, Bottom)의 최대 경도값은 각각 199Hv, 205Hv로 용융부에서 발생하였으며 모재에서 최저 경도값 106Hv, 125Hv를 나타냈다.

5) Type 3의 경도값 또한 Type 1,2와 거의 비슷한 특성을 나타내었으며 값 차이는 그다지 나지 않음을 확인 할 수 있었다.

- 35 -







(1) Type 1 : SGAFC590 1.4t / SGARC440 1.4t



(2) Type 2 : SGARC440 1.4t / SGARC440 2.0t

- 36 -







(3) Type 3 : SGAFC590 1.4t / SGARC440 2.0t



4.4 EN ISO(13919-1) 용접부 비드 특성 평가

EN - ISO 13919-1 규격에 의거하여 용접 결함 (Undercut, Excess weld metal, Excessive peretration) 측면에서 검사를 실시한 결과, 용접조건 초점거리 +1(mm), 보호가스 Ar 15(ℓ /min), 용접속도 1m/min에서 가장 적절한 용입(Reinforcement, Undercut, Continuity of bead width) 및 가장 안정된 비드를 나타내며, 용접부에 대한 비드특성을 EN ISO 13919-1의 3가지 관점에서 수준 1단계에 해당되는 "매 우 양호"의 수준으로 평가되는 건전한 용접부를 확보할 수 있었다.

- 37 -





Imperfection	ISO 6520 reference	Remark	Stringent (Quality B)
Undercut	5011, 5012		h≤0.05t or 0.5mm, whichever is the smaller
Excess weld metal	502	The second secon	h≤0.2mm + 0.15t or 5mm, whichever is the smaller (0.175mm)
Excessive penetration	504	280.758gm	h≤0.2mm + 0.15t or 5mm, whichever is the smaller (0.256mm)
Incompletely filled groove	511	ninger Signal	h≤0.1t or 0.5mm, Whichever is the smaller (0.175mm)

Fig. 4.9 Welding defect standard for electron beam and laser welding

- 38 -





제 5 장 결론

본 연구에서는 3KW CW Nd:YAG 레이저를 이용한 3 Type의 아연도금강판 (Type1: 1.4t SGARC 440/2.0t SGARC 440, Type2: 1.4t SGAFC 590/2.0t SGARC 440, Type3: 1.4t SGARC 440/1.4t SGAFC 590) 레이저 스티치 용접부의 기계적, 금속학적 특성을 평가 하였다.

3KW CW Nd:YAG 레이저를 이용한 3 Type의 SGARC440 / SGAFC590 레이저 스티치 용접부의 기계적, 금속학적 특성은 다음과 같다.

1) 용접조건 초점거리 +1(mm), 보호가스 Ar 15(ℓ/min), 용접속도 1m/min에서 가 장 적절한 용입(Reinforcement, Undercut, Continuity of bead width) 및 가장 안 정된 비드를 나타내며, 용접부에 대한 비드특성을 EN ISO 13919-1의 3가지 관점 에서 수준 1단계에 해당되는 "양호"의 수준으로 평가되는 건전한 용접부를 확보할 수 있었다.

2) 용접속도 1m/min의 조건에서 비드길이 변화에 따른 인장-전단시험 결과 20mm에서 Type1: 1.4t SGARC 440 / 2.0t SGARC 440에서는 최대 전단하중 19.91kN의 값을 얻었고, Type2: 1.4t SGAFC 590 / 2.0t SGARC 440에서는 최대 전단하중 20.84KN의 값을 얻었으며, Type3: 1.4t SGARC 440 / 1.4t SGAFC 590 에서는 최대 전단하중 16.55KN의 값을 얻었다. 비드길이 20mm 및 용접속도 1m/min 용접부 인장전단강도는 모두 KS B 0851에서 요구하는 평가기준을 만족 하였다.

3) 경도분포를 살펴보면 최대 경도 값은 본드라인에서 관찰 할 수 있었다. 또한 용 융부 및 열영향부에서 다각형 구조의 마르텐사이트 조직을 볼 수 있으며, 열영향부 에서 용융부로 가면서 경도분포가 급증하는 것을 관찰할 수 있는데 이는 레이저 용접의 빠른 냉각속도 때문인 것으로 판단된다.

- 39 -





참고문헌

- [1] S.M Joo : Laser Stitch Welding Technology for the Fabrication of Automotive, Journal of KWJS Vol.31 No4(2013) 1-6
- [2] H.I. Kim : Mechanical Characteristics on welded joints of Automative Cowl by Nd:YAG Laser Stitch Welding, 2013
- [3] D.S. Kim : A Study on the Weldability of AHSS_590MPa(Advance High Strength Steel) by Nd:YAG Laser Stitch Welding, 2011
- [4] D.H. Kim : A Study on the Monitoring of Laser Welding for S45C Steels Using Nd:YAG Laser with Continunous Waves, Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers Vol.21 No5(2012) 814-823
- [5] J.S. Choo : A Study on the Nd:YAG Laser Stitch Welding of automotive high strength steel sheet, Journal of KWJS (2006) 213-215
- [6] Y. Zhang : Characteristics of zinc behavior during laser welding of zinc"sandwich"sample, Optics & Laser Technology 44(2012) 2340-2346
- [7] G.Y. Chen : Research on key influence factors of laser overlap welding of automobile body galvanized steel, Optics & Laser Technology 45(2013) 726-733
- [8] J.K. Choi : Laser Welding Characteristics of Ultra High Strength Steel for Automotive Application, Journal of KWJS (2009) 1-4
- Y.H. Park : Development of Coaxial Monitoring System in Laser Arc Hybrid Welding for Automotive Body Application, Journal of KWJS (2009) 9-16
- [10] W.Y Choi : CO₂ LASER-TIG hybrid welding of zinc-coated steel sheets, Journal of KWJS (2005) 246-248

- 40 -





- [11] I.S Jang : Nd:YAG Laser Welding for Side Panel, Journal of KWJS(2001) 9-12
- [12] G.D Na : A Study on the Welding Characteristics of Hastelloy C-276 using a Continuous Wave Nd:YAG Laser, Journal of KWJS (2008) 49-59

- 41 -





	기기고 시스 기기기						
	지작물 이용 어덕지						
학 과	선박해양공학과 학번 20137708 과정 석사						
성 명	한글: 정국성 한문 : 鄭 國 成 영문 : Zheng, Guo-Cheng						
주 소	광주 광역시 동구 서석동 그린빌리지 남학사						
연락처	E-MAIL : okirao@nate.com						
논문제목	한글 : 레이저 스티치 용접을 적용한 자동차 펜더 용접부의 기계적 특성 영어 : Mechanical Characteristics on Welded Joints of Automotive Fender Apron by Nd:YAG Laser Stitch Welding						
본인이 저 저작물을 이용	본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.						
 다 음 - 1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함 2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집 · 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함. 3. 배포 · 전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함. 4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함. 5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함. 6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음 7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송 · 출력을 허락함. 							
동의여부 : 동의(O) 반대()							
	2015 년 2 월						
	저작자: 정 국 성 (인)						
	조선대학교 총장 귀하						

- 42 -

