



### 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2013년 8월  
박사학위 논문

2013년 8월

박사학위논문

# ATOS 80 고장력강의 용접조건에 따른 제 특성에 관한 연구

ATOS 80  
따른 제  
고장력강의  
용접조건에  
특성  
관한  
연구

조선대학교 대학원

기계공학과

백정환

백정환

# ATOS 80 고장력강의 용접조건에 따른 제 특성에 관한 연구

A Study on the Characterzation of Properties in the Welding  
Conditions of ATOS 80 High-strength Steel

2013년 8월 23일

조선대학교 대학원

기계공학과

백정환

ATOS 80 고장력강의 용접조건에  
따른 제 특성에 관한 연구

지도교수 최 병 기

이 논문을 공학박사학위논문으로 제출함

2013年 4月 日

조선대학교 대학원

기 계 공 학 과

백 정 환

# 백정환의 박사학위논문을 인준함

위원장    조선대학교    교수    양 인 영    (인)

위    원    조선대학교    교수    차 용 훈    (인)

위    원    목포대학교    교수    김 일 수    (인)

위    원    우석대학교    교수    임 광 희    (인)

위    원    조선대학교    교수    최 병 기    (인)

2013年 6 月 日

조선대학교 대학원

# 목 차

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Nomenclatures .....         | i    |
| List of Figures .....       | ii   |
| List of Tables .....        | vii  |
| ABSTRACT .....              | viii |
| <br>                        |      |
| 제1장 서 론 .....               | 1    |
| 제1절 연구배경 .....              | 1    |
| 제2절 연구 목적 및 방법 .....        | 6    |
| 제2장 실험방법 .....              | 8    |
| 제1절 관련이론 .....              | 8    |
| 제2절 실험장비 .....              | 30   |
| 제3장 시험편 .....               | 31   |
| 제1절 시험편의 종류 .....           | 31   |
| 제2절 시험편 제작 .....            | 45   |
| 제4장 결과 및 고찰 .....           | 53   |
| 제1절 용접부의 인장강도 특성 .....      | 53   |
| 제2절 용접부 단면의 경도 특성 .....     | 61   |
| 제3절 용접부의 충격치 특성 .....       | 82   |
| 제4절 용접부 단면의 메크로 조직 특성 ..... | 91   |
| 제5절 용접부의 미세조직 특성 .....      | 107  |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 제6절 용접부의 방사선검사 특성 ..... | 147 |
| 제5장 결 론 .....           | 162 |
| 참고문헌 .....              | 164 |

## Nomenclatures

|               |   |                                                    |
|---------------|---|----------------------------------------------------|
| $\alpha$      | : | Hammer surface angle                               |
| $\beta$       | : | Lifting angle after that fracture                  |
| $\beta_0$     | : | Lifting angle of hammer resonance                  |
| $d$           | : | Diagonal of indentation                            |
| $d_o$         | : | The distance between source and test body          |
| $E$           | : | Charpy absorbed energy                             |
| $F$           | : | Maximum project dimension of radiation source      |
| $g$           | : | Acceleration of gravity                            |
| Hv            | : | Vickers hardness number                            |
| $P$           | : | Applied load                                       |
| $R$           | : | Round                                              |
| $R$           | : | Radius of pendulum                                 |
| $\Theta$      | : | Angle between opposite faces of diamond pyramid    |
| $\sigma$      | : | Normal stress                                      |
| $\varepsilon$ | : | Longitudinal strain in speed of deformation        |
| $U$           | : | Absorbed energy of impact specimen                 |
| $U_o$         | : | Energy loss of impact tester                       |
| $U_g$         | : | Geometric unsharpness                              |
| $W$           | : | Hammer weight                                      |
| $t$           | : | Distance to the film from source side of test body |
| ${}^vT_{rE}$  | : | Temperature become a half of toughness state value |
| $T_{r15}$     | : | The temperature when impact value reached 15ft-lb  |
| $T_{r10}$     | : | The temperature when impact value reached 10ft-lb  |



## List of Figures

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 2-1. Diffuse necking and localized necking occur to the flake specimen.....     | 8  |
| Fig. 2-2. Geometric type of necking part(a) and apply stress to point(b).....        | 9  |
| Fig. 2-3. Vickers hardness testing in the surface area of indentation.....           | 12 |
| Fig. 2-4. Vickers hardness testing machine.....                                      | 13 |
| Fig. 2-5. Ductility-malleability transition temperature.....                         | 15 |
| Fig. 2-6. Carbon steel impact value that tempering at the end of quenching.....      | 16 |
| Fig. 2-7. Ductility fracture of Ni-Cr steel.....                                     | 16 |
| Fig. 2-8. Impact fracture of Ni-Cr steel to $-193^{\circ}\text{C}$ .....             | 16 |
| Fig. 2-9. An example of macro etching test in stainless steel.....                   | 23 |
| Fig. 2-10. An example of structure observation in nodular graphite cast iron.....    | 24 |
| Fig. 2-11. Fe-C equilibrium diagram and standard structure of steel.....             | 25 |
| Fig. 2-12. Structure deformation of steel according in Fe-C carbon amount .....      | 25 |
| Fig. 2-13. Quality of radiation project test from variable to deformation effect.... | 27 |
| Fig. 2-14. Geometric effect of test body-film.....                                   | 28 |
| Fig. 2-15. Geometric unsharpness monograph (SI Unit).....                            | 29 |
| Fig. 2-16. A setup of GMA welding equipment .....                                    | 30 |
| <b>Fig. 3-1.</b> Non-restraint welding joint shape of specimens.....                 | 32 |
| Fig. 3-2. Restraint welding joint shape of specimens.....                            | 32 |
| Fig. 3-3. Geometry for the extraction of specimens.....                              | 42 |
| Fig. 3-4. Location for the extraction of specimens.....                              | 42 |
| Fig. 3-5. Shape for the extraction of specimens.....                                 | 43 |
| Fig. 3-6. Geometry of tensile test specimens.....                                    | 43 |
| Fig. 3-7. Geometry of impact test specimens.....                                     | 43 |
| Fig. 3-8. Geometry of hardness and welding structures in specimens.....              | 44 |
| Fig. 3-9. After fine grinding of tensile test specimens.....                         | 46 |
| Fig. 3-10. After tensile test of specimens.....                                      | 46 |
| Fig. 3-11. After fine grinding of hardness test specimens .....                      | 47 |
| Fig. 3-12. Working of hardness test specimens by universal testing machine.....      | 47 |
| Fig. 3-13. After fine grinding of impact test specimens.....                         | 48 |
| Fig. 3-14. After impact test in specimens.....                                       | 48 |
| Fig. 3-15. After fine grinding of welding macro structures in specimens .....        | 49 |
| Fig. 3-16. Welding macro structure.....                                              | 49 |
| Fig. 3-17. After fine grinding of welding structure specimens.....                   | 50 |
| Fig. 3-18. Welding structure by SEM.....                                             | 51 |
| Fig. 3-19. X-ray Radiographic inspection of ATOS 80 welding specimen .....           | 52 |

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 3-20. X-ray Radiographic test film in ATOS 80 welding specimen.....                                                                                                          | 52 |
| Fig. 4-1. Result of tensile test according to number of welding pass.....                                                                                                         | 54 |
| Fig. 4-2. Result of tensile test according to shielding gas amount.....                                                                                                           | 55 |
| Fig. 4-3. Results of tensile test according to opening angles in welding specimens<br>.....                                                                                       | 56 |
| Fig. 4-4. Results of tensile test according to root gaps in welding joints.....                                                                                                   | 57 |
| Fig. 4-5. Results of tensile test according to mixing gas ratio in welding joints.....                                                                                            | 59 |
| Fig. 4-6. Result of tensile test according to preheating in welding specimens.....                                                                                                | 60 |
| Fig. 4-7. Hardness distribution in welding according to welding pass the number<br>of times in CO <sub>2</sub> 100% and non-restraint welding.....                                | 62 |
| Fig. 4-8. Hardness distribution in welding according to welding pass the number<br>of times in CO <sub>2</sub> 100% and restraint welding.....                                    | 63 |
| Fig. 4-9. Hardness distribution in welding according to welding pass the number<br>of times in CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% and non-restraint welding.....                        | 63 |
| Fig. 4-10. Hardness distribution in welding according to number of welding pass.....                                                                                              | 64 |
| Fig. 4-11. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding<br>shielding in CO <sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding.....              | 65 |
| Fig. 4-12. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding<br>shielding in CO <sub>2</sub> 100% of shielding gas and restraint welding.....                  | 66 |
| Fig. 4-13. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding<br>shielding in CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% of shielding gas and non-restraint<br>welding.....   | 67 |
| Fig. 4-14. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding<br>shielding.....                                                                                 | 68 |
| Fig. 4-15. Hardness distribution in welding according to opening angle of welding<br>specimens in CO <sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding.....            | 69 |
| Fig. 4-16. Hardness distribution in welding according to opening angle of welding<br>specimens in CO <sub>2</sub> 100% of shielding gas and restraint welding.....                | 70 |
| Fig. 4-17. Hardness distribution in welding according to opening angle of welding<br>specimens in CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% of shielding gas and non-restraint<br>welding..... | 71 |
| Fig. 4-18. Hardness distribution in welding according to opening angle of welding<br>specimens.....                                                                               | 72 |
| Fig. 4-19. Hardness distribution in welding according to opening angle of welding<br>specimens in CO <sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding.....            | 74 |
| Fig. 4-20. Hardness distribution in welding according to gas ratio of welding joints.....                                                                                         | 75 |
| Fig. 4-21. Hardness distribution in welding according to preheating of welding joints<br>in CO <sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding.....                  | 77 |

|                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 4-22. Hardness distribution in welding according to preheating and non-preheating of welding joints in CO <sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding root gap of by welding joints.....                     | 78  |
| Fig. 4-23. Hardness distribution in welding according to preheating and non-preheating of welding joints in CO <sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding by opening angle of 40° in welding specimens.....      | 79  |
| Fig. 4-24. Hardness distribution in welding according to preheating and non-preheating of welding joints in CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% of shielding gas and non-restraint welding by welding specimens opening angle of 50°..... | 80  |
| Fig. 4-25. Hardness distribution in welding according to preheating and non-preheating of welding specimens.....                                                                                                                   | 81  |
| Fig. 4-26. Results of impact test according to number of welding pass.....                                                                                                                                                         | 84  |
| Fig. 4-27. Results of impact test according to amounts of shielding gas.....                                                                                                                                                       | 85  |
| Fig. 4-28. Results of impact test according to opening angle of welding specimens                                                                                                                                                  | 87  |
| Fig. 4-29. Results of impact test according to root gap of welding joints                                                                                                                                                          | 88  |
| Fig. 4-30. Results of impact test according to a mixing gas ratio of welding joints                                                                                                                                                | 89  |
| Fig. 4-31. Results of impact test according to preheating and non-preheating of welding specimens                                                                                                                                  | 90  |
| Fig. 4-32. A schematic diagram of the various sub-zones of the heat-affected zone to the alloy.....                                                                                                                                | 91  |
| Fig. 4-33. Micro structs of weld specimen of welding pass number.....                                                                                                                                                              | 94  |
| Fig. 4-34. Micro structs of weld specimen of shielding gas amounts.....                                                                                                                                                            | 97  |
| Fig. 4-35. Micro structs of weld specimens opening angle.....                                                                                                                                                                      | 100 |
| Fig. 4-36. Micro structs of weld specimens of joints root gap.....                                                                                                                                                                 | 102 |
| Fig. 4-37. Micro structs of weld specimens of joints mixer gas ratio.....                                                                                                                                                          | 103 |
| Fig. 4-38. Micro structs of weld specimens joints preheating and non-preheating                                                                                                                                                    | 106 |
| Fig. 4-39. Macro structure of A9 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 108 |
| Fig. 4-40. Micro structure of A2 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 109 |
| Fig. 4-41. Micro structure of A3 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 110 |
| Fig. 4-42. Micro structure of A5 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 111 |
| Fig. 4-43. Micro structure of A6 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 112 |
| Fig. 4-44. Micro structure of A8 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 113 |
| Fig. 4-45. Micro structure of A9 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 114 |
| Fig. 4-46. Micro structure of B2 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 115 |
| Fig. 4-47. Micro structure of A2 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 116 |
| Fig. 4-48. Micro structure of B3 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 117 |
| Fig. 4-49. Micro structure of B5 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 118 |
| Fig. 4-50. Micro structure of A5 welding joint.....                                                                                                                                                                                | 119 |

|            |                                                                                                 |     |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 4-51. | Micro structure of B6 welding joint                                                             | 120 |
| Fig. 4-52. | Micro structure of B8 welding joint                                                             | 121 |
| Fig. 4-53. | Micro structure of A8 welding joint                                                             | 122 |
| Fig. 4-54. | Micro structure of B9 welding joint                                                             | 123 |
| Fig. 4-55. | Micro structure of C1 welding joint                                                             | 124 |
| Fig. 4-56. | Micro structure of A2 welding joint                                                             | 125 |
| Fig. 4-57. | Micro structure of C2 welding joint                                                             | 126 |
| Fig. 4-58. | Macro structure of C3 welding joint                                                             | 127 |
| Fig. 4-59. | Micro structure of A5 welding joint                                                             | 128 |
| Fig. 4-60. | Micro structure of C4 welding joint                                                             | 129 |
| Fig. 4-61. | Micro structure of C5 welding joint                                                             | 130 |
| Fig. 4-62. | Micro structure of A8 welding joint                                                             | 131 |
| Fig. 4-63. | Micro structure of C6 welding joint                                                             | 132 |
| Fig. 4-64. | Micro structure of D1 welding joint                                                             | 133 |
| Fig. 4-65. | Micro structure of A5 welding joint                                                             | 134 |
| Fig. 4-66. | Micro structure of D3 welding joint                                                             | 135 |
| Fig. 4-67. | Micro structure of A8 welding joint                                                             | 136 |
| Fig. 4-68. | Micro structure of E1 welding joint                                                             | 137 |
| Fig. 4-69. | Micro structure of A8 welding joint                                                             | 138 |
| Fig. 4-70. | Micro structure of E3 welding joint                                                             | 139 |
| Fig. 4-71. | Micro structure of F1 welding joint                                                             | 140 |
| Fig. 4-72. | Micro structure of A2 welding joint                                                             | 141 |
| Fig. 4-73. | Micro structure of F2 welding joint                                                             | 142 |
| Fig. 4-74. | Micro structure of F4 welding joint                                                             | 143 |
| Fig. 4-75. | Micro structure of C1 welding joint                                                             | 144 |
| Fig. 4-76. | Macro structure of F5 welding joint                                                             | 145 |
| Fig. 4-77. | Micro structure of A8 welding joint                                                             | 146 |
| Fig. 4-78. | X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO <sub>2</sub><br>100%            | 148 |
| Fig. 4-79. | X-ray radiographic test film of welding specimen to 5pass at CO <sub>2</sub><br>100%            | 148 |
| Fig. 4-80. | X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO <sub>2</sub> 20%<br>+ Ar 80%    | 149 |
| Fig. 4-81. | X-ray radiographic test film of welding specimen to 5pass at CO <sub>2</sub> 20%<br>+ Ar 80%    | 149 |
| Fig. 4-82. | X-ray radiographic test film of welding specimen by 4pass at CO <sub>2</sub><br>100% in 15ℓ/min | 150 |
| Fig. 4-83. | X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO <sub>2</sub> 100%<br>in 20ℓ/min | 151 |

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 4-84. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO <sub>2</sub> 100%<br>in 25ℓ/min.....                      | 151 |
| Fig. 4-85. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO <sub>2</sub> 20%<br>+ Ar 80% in 15ℓ/min.....              | 152 |
| Fig. 4-86. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO <sub>2</sub> 100%<br>+ Ar80% in 20ℓ/min .....             | 152 |
| Fig. 4-87. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO <sub>2</sub> 100%<br>+ Ar 80% in 25ℓ/min.....             | 153 |
| Fig. 4-88. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 100% welding specimen<br>by opening angle 40° .....         | 154 |
| Fig. 4-89. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 100% welding specimen<br>by opening angle 50° .....         | 154 |
| Fig. 4-90. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 100% welding specimen<br>by opening angle 60° .....         | 155 |
| Fig. 4-91. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% welding<br>specimen by opening angle 40°.....  | 155 |
| Fig. 4-92. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% welding<br>specimen by opening angle 50° ..... | 156 |
| Fig. 4-93. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% welding<br>specimen by opening angle 60°.....  | 156 |
| Fig. 4-94. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% welding<br>specimen by root gap 3[mm] .....    | 157 |
| Fig. 4-95. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% welding<br>specimen by root gap 5[mm].....     | 158 |
| Fig. 4-96. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 10% + Ar 90% welding<br>specimen .....                      | 158 |
| Fig. 4-97. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% welding<br>specimen .....                      | 159 |
| Fig. 4-98. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 30% + Ar 70% welding<br>specimen.....                       | 159 |
| Fig. 4-99. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 100% in preheating<br>welding specimen .....                | 160 |
| Fig. 4-100. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 100% in no-npreheating<br>welding specimen .....           | 161 |
| Fig. 4-101. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% in<br>preheating welding specimen.....        | 161 |
| Fig. 4-102. X-ray radiographic test film of shielding gas CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% in<br>non-preheating welding specimen .....   | 162 |

## List of Tables

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 2-1. Spectrum of strain ratio                                               | 8  |
| Table 2-2. Media and test temperature                                             | 15 |
| Table 2-3. Tip of visual structure inspection                                     | 18 |
| Table 2-4. Type and symbol of the macro structure                                 | 20 |
| Table 2-5. Standard etching time with macro structure inspection                  | 22 |
| Table 3-1. Chemical compositions of ATOS80 high tensile strength steel(Wt.%)      | 31 |
| Table 3-2. Mechanical properties of ATOS80 high tensile strength steel            | 31 |
| Table 3-3. Welding condition of SPEC. Number                                      | 34 |
| Table 3-4. Welding conditions in number of welding passes                         | 35 |
| Table 3-5. Welding conditions in shielding gas amounts                            | 36 |
| Table 3-6. Welding condition in opening angle of welding specimens                | 37 |
| Table 3-7. Welding conditions in root gap of welding joints                       | 38 |
| Table 3-8. Welding conditions in mixing gas ratio of welding joints               | 39 |
| Table 3-9. Welding conditions in preheating and non-preheating of welding joints  | 40 |
| Table 3-10. Chemical compositions of E110T1-K3C welded wire(Wt.%)                 | 44 |
| Table 3-11. Mechanical properties of E110T1-K3C welded wire                       | 44 |
| Table 4-1. Welding Condition and Symbol                                           | 53 |
| Table 4-2. Rupture part of tensile specimens                                      | 55 |
| Table 4-3. Rupture part of tensile specimens                                      | 56 |
| Table 4-4. Rupture part of tensile specimens                                      | 50 |
| Table 4-5. Rupture part of tensile specimens                                      | 57 |
| Table 4-6. Rupture part of tensile specimens                                      | 58 |
| Table 4-7. Rupture part of tensile specimens                                      | 59 |
| Table 4-8. Size of welding in number of welding passes                            | 61 |
| Table 4-9. Welding size in shielding gas amounts                                  | 65 |
| Table 4-10. Welding size in opening angles of welding specimens                   | 69 |
| Table 4-11. Welding size in root gap of welding joints                            | 73 |
| Table 4-12. Welding size in mixing gas ratio of welding joints                    | 74 |
| Table 4-13. Size of welding by welding joints preheating and non-preheating       | 76 |
| Table 4-14. Sharp impact test result value of ATOS 80 high tensile steel weldment | 83 |

# ABSTRACT

## A Study on the Characterzation of Properties in the Welding Conditions of ATOS80 High-strength Steels

Baek, Jung-Hwan

Advisor : Prof. Choi, Byung-Ky, Ph.D.

Department of Mechanical Engineering

Graduate School of Chosun University

In this study, mechanical properties were investigated and compared such as tensile strength, yield strength, elongation, hardness, and brittleness in ATOS80 specimens which were welded using a flux cored arc welding. Welding failures were revealed through macroscopic examination of the welded part, microscopic weld examination, and radiograph testing. The results are presented as follows:

1. For a tensile strength test, performance of a specimen which was welded with 4 passes under the same conditions was better than that of a specimen welded with 5 passes. There was no significant difference found when gas used was 15ℓ/min. or 20ℓ/min. and it was suggested that the elongation for pure carbon dioxide shielding gas was 2~6% higher than that for mixed gas because the pure carbon dioxide had more deoxidation effect. The ratio of CO<sub>2</sub> and argon of 20:80 produced better results than other ratios of mixed gases and there was no significant difference for preheating.

2. In a hardness test of welded specimens, the hardness of the specimen which was welded with 5 passes was higher than that of a specimen welded with 4 passes under the same welding conditions because of micro fissures as heat input into the weld is large when the specimen is welded with 5 passes. In comparing data on the mix of protective gases and constraints, when the bevel angle was  $50^\circ$  rather than  $40^\circ$  or  $60^\circ$ , the hardness was more stable. The 5mm-thick specimens welded had more stable hardness than the 3mm-thick welded specimens, and at a mix ratio 30:70 for  $\text{CO}_2$  and argon with more carbon dioxide, hardness was lower. The reason that the hardness value was stable was due to the higher deoxidation effect.
3. In an impact test of the weld specimens, it was discovered that the specimen welded with 4 passes had a higher impact value than that of the specimen welded with 5 passes. A shield gas flow rate of 20ℓ/min. had the highest impact value, and it was believed that when 25ℓ/min. of gas was used, the weld could not be properly shielded because of turbulence. Also when the  $\text{CO}_2$  was 100% and the gap welding of the unconstrained weld was  $50^\circ$  the absorption energy was the highest because internal stress was contained in the weld. The impact test for weld specimens which were not preheated had a higher absorption energy than the preheated weld specimen it was probably because ductility increased due to coarse fissures.
4. In a macroscopic test of the welds, the specimens were welded with 4 passes, shield gas flow rate of 20ℓ/min. and a gap of  $50^\circ$  had less failures and a normal dendritic structure was found in the entire weld, but the rest of the specimens had weaker micro-structures and dendritic structures developed in terms of root gaps or the mixed gas ratio. In the case where the weld specimen was 5mm thick and the gas ratio was 20:80 for  $\text{CO}_2$  and argon there were no welding failures, but the other specimens had welding failures.
5. In a microscopic tests of the weld, under the same welding conditions for 4 passes, shield gas flow rate of 20ℓ/min. and gap welding of  $40^\circ$  and  $50^\circ$ , the ground of the specimen was ferrite with a micro



martensite structure, and the boundary was ferrite ground with a pearlite structure; but the other welds had a ferrite ground with some Bainite or Pearlite structures on the micro martensite structure. In terms of the root gap or mixed gas ratio, all of the specimens had stable micro structures.

6. In a radiograph test, it was discovered that the specimens were welded under the same welding conditions of 4 passes, shield gas flow rate of 20ℓ/min, and gap welding of 50°, and steel thickness of 3mm and 5mm, the mixed gas ratio of 20:80 for CO<sub>2</sub> and argon had no or the least welding failures, but the other specimens had a lot of welding failures.

#### **[ Desired Effects ]**

This study was recommended that through tests of v-shaped flux cored arc welding of 12mm thick ATOS80 high tensile steel, the following conditions are the most appropriate: 4 pass welding, unconstrained, 100% CO<sub>2</sub> shielding gas, 5[mm] of root gap, 20ℓ/min of shielding gas, 50°of gap welding, 200[A] of welding current, 24[V] of arc voltage, preheating to 160[°C] and flux arc welding ceramic for backing.

# 제1장 서 론

## 제1절 연구배경

최근에는 ATOS (Steel for automobile structure)고장력강은 강인하고, 내마모성이 풍부하며, 인장강도가 일반 강재보다 높아 토목, 건축, 선박, 자동차의 구조용 재료로 쓰이는 강재는 고장력강을 많이 사용한다.

고장력강은 탄소강의 특수한 용도로 사용함으로써 미소량의 합금원소를 첨가하고 특수 압연을 통하여 만들기 때문에 보통 탄소강과는 구별된다. 0.2% 이하의 저탄소강에 소량의 Mn을 배합하고 각종 처리에 의해서 인장강도를 490MPa(50kgf/mm<sup>2</sup>)이상으로 한 것으로 특수한 구조용 재료로서 많이 사용되는 중요한 재료이다. 얇게 만들 수 있고, 강성과 강도가 극히 큰 재료이며, 인성과 용접성이 우수하고 내후성도 양호하며, 용접 시공하는 데도 판 두께를 적게 할 수 있어 용접 비용을 적게 할 수 있는 특징을 갖고 있다.

고장력강의 종류로는 열간 압연한 상태 또는 노멀라이징 상태의 비 조질형으로 인장강도가 588MPa(60kgf/mm<sup>2</sup>) 이하이고, Si, Mn의 합금원소를 가지며, 퀴칭과 템퍼링 등의 열처리를 행하여 강도를 높인 조질형으로 인장강도가 588MPa(60kgf/mm<sup>2</sup>) 이상의 강으로 노치인성이나 용접성이 양호한 것이 특징이다. 이 고장력강은 고용체가 되면 고용강화를 일으키며, 결정립의 미세화 및 석출에 의해서도 강화되며, 제어압연에 의한 강화법은 가열조건, 압연 압하량, 온도, 가열시간, 그 후의 냉각과정 등을 관리 제어하여 제품을 강인화하는 가공 열처리법에 의하여 생산 한다<sup>1)</sup>.

철구조물을 제작 생산하는 산업현장에서 많이 사용하고 있는 고장력강의 제품으로는 POSTEN 60, 80, 내마모 고장력강판, 자동차구조용 스마트강판, WEL-HARD, WEL-TEN 신일본제철(NSC)의 내마모 고장력강판, 스웨덴 SAAB사의 HARDOX, ATOS 80, ATOS 60, ATOS55 등이 있다.

포스코 고강도강판 POSTEN60, POSTEN80은 용접구조용 고장력 강판으로 빌딩, 교량, 산업기계, 압력용기 등으로 사용된다. 또한 WEL-HARD, WEL-TEN 신일본제철(NSC)의 내마모 고장력 강판은 보통 강과 비교하여 4배 또는 2.5배의 내마모성이 있어 기계부품의 수명 연장화, 경량화, 비용절감에 효과가 있으며, 또한 용접성 및 냉간 벤딩 등 가공성이 뛰어나 생산의 효율성이 있어 석유탱크, 가스홀더, LPG선, 교량, 덤프트럭, 크레인, 불도저, 포크레인, 석유시추플랫폼 플랜트, 각종 산업기계, 압력용기, 원유탱크 등에 사용 된다<sup>2,3,4)</sup>.

포스코 고장력강판 ATOS는 ATOS 80, ATOS 60, ATOS 55가 있으며, ATOS 80 용도는 건설기계, 각종 산업기계, 석유탱크, LPG선박, 불도저, 덤프트럭, 크레인, 석유 시추플랫폼, 굴삭기 등에 사용 된다.

이들 상품화되어 있는 고장력강 중 ATOS는 Steel for Automobile Structure를 의미 하며, 포스코의 고유 브랜드명이며, 고강도·초 경량화 요구에 반영된 포스코의 혁신 적인 제품이다. ATOS 80은 완성차 메이커에서 가장 강한 강도가 필요한 메인 프레임 에 적용하고 있고, 포스코에서 생산하는 자동차 구조용 고장력 열간 압연강판으로 현 재 포스코에서 상용화하고 있다.

포스코에서 생산하는 일반적인 ATOS 80의 철판 두께는 2.3~12.7mm 정도로 화 학적 성분은 C와 Mn은 각각 0.2% 이하, Si 0.4% 이하, P는 0.03% 이하 등 저합금강 에 분류하여 항복강도는  $65\text{kgf/mm}^2(700\text{MPa})$ 이고, 인장강도는  $80\text{kgf/mm}^2$ 이상으로 연 신율은 9% 정도이다.

ATOS 80은 고강도·초경량화 특성뿐만 아니라 우수한 편차제품으로 자동차의 프레 임, 크레인붐 대, 포클레인 부품 등 중장비에 주로 적용하고, 품질 안정화로 수입소재 를 국산화로 제품의 원가절감과 수급 안정화에 크게 기여하고 있다.

ATOS의 높은 강도는 기존 SSAB재 대비 반복하중에 의해 발생하는 피로 파괴면에서 강점을 가져와 제품에 대한 만족도를 더욱 높이고 있다.

타타대우 상용차는 ATOS 상용화를 목적으로 포스코의 EV(Early Vendor Involvement) 활동 과 연계해 ATOS 강종을 접하고 있다.

현대 상용차는 기존 SSAB사 등으로부터 수입하던 강종을 포스코의 ATOS로 대체 해 수급 안정화와 원가절감 효과를 보고 있다. 또한 연간 4000톤의 프레임 부품에 사 용되는 강종을 스웨덴 철강사인 SSAB로부터 비싼 가격에 수입해 사용하던 것을 포스 코의 ATOS강재로 대체함으로써 원가절감과 수급 안정화라는 두 가지 효과를 얻을 수 있었다.

ATOS 80은 자동차 구조용 고장력 열간 압연강판으로 국내에서는 가장 단단한 소 재로 국내 자동차회사의 완성차 메이커에서 가장 강한 강도가 필요한 메인 프레임에 적용하여 트럭의 프레임 재질로 사용되며, 포맥에서 쓰리축에 적용되는 액슬리트의 소 재이다. 또한 주로 골재 수송용에 많이 사용되며, 엄청난 강도를 갖고 있다<sup>5)</sup>. 용접용 철판으로 건설기계 장비의 내마모 부분 및 고강도용으로 유압크레인, 건설기계, 각종 산업기계, 농업기계, 석유탱크, LPG선박, 불도저, 덤프트럭, 크레인, 석유시추플랫폼, 굴 삭기, 화물차나 해양크레인, 신호등 등 소재로 사용되고, 품질 안정화로 수입소재를 국 산화로 제품의 원가절감과 수급 안정화에 크게 기여하고 있으며, 자동차 차체의 고강

도 설계를 위해 모든 액슬리트의 부품을 국내생산 철판 소재로는 가장 강도가 강한 ATOS 80을 사용하고 있다.

타타대우의 상용차 제작에서 ATOS강을 상용화 목적으로 포스코의 EV(Early Vendor Involvement) 활동과 연계해 ATOS 강종을 적용하고 있으며, 동양에스텍은 국내 최초로 20mm 이상의 HR plate 가공설비를 도입하는 등에 따라 HR plate 시장은 고강도강인 ATOS 80으로 대체되어 사용량이 크게 증가될 것으로 예상되고, 미래는 현재보다 고강도강의 재질로 HR Plat를 사용하는 조선, 자동차 pipe 및 기타 구조물 등에 사용하는 많은 변화가 올 것이라 생각하며, 고강도강인 ATOS 80으로 대체되어 사용량이 크게 증가될 것으로 예상된다<sup>6)</sup>.

그러나 용접은 모재를 짧은 순간에 국부적으로 가열하여 용융하거나, 반응용 상태에서 압력을 가하며, 또는 금속을 고체 상태에서 제3의 금속인 땀납재를 사용하여, 금속의 원자 간의 거리를 1Å만큼 접근하였을 때, 금속재료 상호간에 인력이 작용하여 용해 및 응고, 확산, 소성변형 등이 발생하게 된다<sup>7)</sup>.

특히, 용접은 각종 산업의 발전과 더불어 급속히 발전하여 가정 기구 및 비품을 비롯하여 각종 모양과 형태의 교량과 탑, 공장설비, 해양플랜트설비, 화학플랜트설비, 수력 및 화력발전설비, 화학플랜트설비, 환경플랜트설비, 공조냉동설비, 태양열설비, 태양광설비, 풍력설비, 지열설비, 보일러, 압력용기, 제관, 열교환기, 일반 및 공업배관설비 등 다양한 금속의 각종 구조물과 선박, 기계, 차량, 자동차, 항공기, 농기계, 전기제품, 전자제품 등 제품 제작과 첨단기술인 반도체 설비, 로켓트, 우주선, 원자로 핵 발전설비, 모든 재해를 막아 주는 모든 설비 등을 제작에 있어서 용접은 가장 큰 비중을 차지하는 필수적인 접합기술이다<sup>8,9)</sup>.

또한 용접은 작업 시 단시간에 5,000 ~ 6,000 °C 정도의 높은 열을 발생하여 아주 높은 열로 국부적으로 빠르게 진행하기 때문에 모재의 열팽창 및 냉각시의 수축 등이 짧은 순간의 온도 변화로 인하여 국부적인 변형으로 굽힘이나 뒤틀림 등의 열 소성변형을 발생시키며, 용접부는 모재의 항복강도에 가까운 높은 잔류응력이 존재하여 파괴 및 피로 강도를 크게 저하시키고, 용접재료에 금속조직의 변화 및 열응력 영향을 크게 받으므로 외부로부터 큰 힘과 압력을 받게 되면 순식간에 용접결함이 발생한 부분에서 파괴가 일어나며, 또한 철 구조물의 용접결함과 같은 불연속부에서 반복하중에 의한 피로균열이 발생하여 성장하게 되면 일시에 파손되는 사고가 많이 발생하고 있다<sup>10,11,12)</sup>.

용접할 때 용접조건이 적합하지 못하면 용접결함이 발생하기 쉽고, 또한 용접열에 의한 모재의 변질, 변형과 수축, 잔류응력의 발생 및 용접부 내의 화학성분과 조직의

변화를 피할 수 없게 된다. 특히, 용접사의 숙련과 주어진 용접환경 내의 용접조건에 따라 용접부의 강도를 저하시키는 요인이 많으므로, 양호한 용접을 하기 위해서는 용접 전, 용접 중, 용접 후에 있어서 용접재료, 용접설비, 용접시공, 용접 후열처리 등을 선정<sup>13,14)</sup>하는 연구가 많이 진행이 되고 있으나 용접변수에 따른 기하학적인 조건과 하중형태 등의 복합적인 영향으로 인해 아직도 해결해야 할 문제가 많이 남아 있다.<sup>9)</sup> 특히, 각종 자동차의 프레임 및 적재함, 선박의 블록, 중장비의 샵날, 고가사다리의 붐대, 열설비의 열교환기, 보일러의 압력용기, 가스설비의 저장용기 등 큰 강도와 높은 압력을 필요로 하는 철 및 비철구조물 제작과정에서 용접작업 환경이나 용접조건이 나쁘면 여러 가지 용접결함이 발생하게 된다.

용접부에 발생된 용접결함에 의하여 외부에서 작용하는 하중에 대항하지 못하면 급격히 파괴되는 경우가 있다. 이러한 용접부의 파괴는 예측할 수 없는 상황에서 순식간에 사고가 발생함으로써 수많은 인명 및 재산 피해를 당하는 심각한 사태를 초래하게 된다.<sup>15,16)</sup> 용접작업에 있어서 용접 전, 중, 후처리과정에서 용접 시공하는 동안에 용접결함이 가장 많이 발생할 가능성이 높기 때문에 안정성이 높은 제품을 제작하기 위해서는 용접하는 도중에 가장 많이 주의를 기울여야 용접결함을 최소화할 수 있고, 이러한 중대한 용접을 하는 용접사 뿐만 아니라 모든 용접사는 그에 관련된 용접 전문기술과 지식을 습득하여야 한다<sup>17,18)</sup>.

이에 대하여 계속적으로 연구가 진행되고 있으나 야금학적 및 기하학적인 조건과 하중형태 등의 복합적인 영향으로 인해 아직도 해결해야 할 문제가 많이 남아 있다<sup>19)</sup>.

각종 플랜트설비나 철 구조물의 용접부에서 발생된 용접결함, 외부에서 작용하는 하중, 용착부에 함유된 불순물로 하여금 재료의 항복응력 이하의 작은 하중과 내부 응력은 용접부의 내·외부결함을 서서히 성장시켜 어느 한도의 하중에서 급속한 파괴로 인하여 수많은 인적 및 물적 피해를 보는 큰 사고를 발생하게 된다<sup>20)</sup>. 이에 따라 용접구조물의 파괴를 방지하기 위하여 용접부의 안전성, 건전성, 신뢰성을 확보하기 위해서는 용접 작업할 때 용접부 내에 발생하는 용접결함 및 용접 내부에 존재하고 있는 내부 잔류응력을 최대한 감소시켜야 한다<sup>21)</sup>.

용접 후에 발생된 용접결함은 용접부 내외부를 시험 검사하여 얻어진 결함 정도에 따라 용접부의 합격 여부를 결정한다. 그러나 용접하는 동안 발생하는 용접결함과 열에 의하여 내부응력이 발생하기 때문에 용접 품질을 높이기 위해서는 용접의 결함을 최소화하는 용접 방법이 요구되어진다.

용접부 검사는 용접제품의 사용여부를 결정하기 때문에 철 구조물의 용접부에 대해서는 파괴검사를 할 수 없어 철 구조물의 용접시험편을 통하여 파괴검사를 실시하여

이에 대한 철 구조물의 용접접합부에 대한 안정성을 확보한 후, 검증된 용접방법과 시공, 적합한 용접조건에 의하여 제작된 철 구조물의 용접제품에 대해서 비파괴검사를 하고 있다<sup>22~25)</sup>.

각종 압력탱크, 자동차, 선박, 항공기, 농업기계, 중장비, 차량 등의 부품이나, 또는 플랜트설비의 열교환기, 압력용기, 저장용기 등에 사용하는 고장력강의 용접부는 여러 가지 결합에 의하여 급격히 파괴되는 경우가 있다. 이러한 철 구조물 용접부의 파괴는 예측할 수 없는 상황에서 순식간에 사고가 발생함으로써 인명 및 재산 피해를 당하는 심각한 사태를 초래 한다<sup>26)</sup>. 각종 설비나 철 구조물의 용접결합, 내·외부적으로 작용하는 하중에 대한 저항력, 불순물 함유로 하여금 재료 내의 항복응력 이하로 외부에 가해지는 응력과 내부에 존재하고 있는 잔류응력은 용접부에 형성된 용접결합을 서서히 성장시켜 짧은 순간 급속 파괴로 인한 큰 사고를 초래하게 된다<sup>27)</sup>.

이에 대한 용접구조물의 파괴를 방지하고, 안전성과 신뢰성을 확보하여야 하기 위해서는 용접부에서 가지는 용접결합 및 내부 응력을 최대한 감소를 시켜야 한다<sup>28)</sup>.

산업의 발전과 더불어 각종 장비 및 산업구조물의 사용 환경도 점점 열악해지고 있는 실정이다. 이러한 구조물에 대하여 안정성을 고려한 경량이면서도 수명이 긴 고강도를 가지는 재료가 요구되고 있다. 최근에 이러한 요구에 부응하기 위하여 현재, 고강도 재료가 필요한 불도저의 삽날 및 붐대, 크레인의 붐대, 굴삭기의 붐대, 크롤러 드릴의 붐대, 덤프트럭의 적재함, 건설기계의 프레임, 각종 농기계의 날 및 프레임 등 구조물 제작에 주로 80kg/mm<sup>2</sup>급 ATOS 고장력강을 많이 사용하고 있는 편이다.

POSCO에서 생산된 ATOS는 ‘Steel for Automobile Structure’를 의미하며, 포스코 고유의 브랜드명으로 고강도·초경량화 요구를 충족하는 혁신 소재로 초경량·고강도 특성뿐만 아니라 우수한 품질 및 안정화되어 있어 수입 대체에 따른 원가 절감 및 수급 안정에 크게 기여하고 있다. 그러나 ATOS의 높은 강도는 기존 80kg/mm<sup>2</sup>급 고장력 강보다 반복하중에 대한 피로파괴가 높을 뿐만 아니라 내마멸성 및 내구성이 높지만, 가격이 비싸고, 용접에 있어서는 고강도이기 때문에 신중하게 용접 작업을 하여야만 한다.

## 제2절 연구 목적 및 방법

고장도강인 ATOS 80 용접시 열 영향으로 인한 경한 조직과 용접법에 따라 용착금속 내부에 기공 등의 결함을 발생시켜 기계적 성질을 모두 저하시키고, 높은 항복응력을 가지고 있어 냉간가공이 어렵기 때문에 구조물 제작이 쉽지 않아 ATOS 80 고장력강에 대한 연구 자료는 미흡한 실정이다.

그리고 ATOS 80 고장력강은 일반 강재보다 비싸고, 가공하기에 매우 까다로운 재료이며, 성공적인 용접 철 구조물 제작을 위해서는 재질에 따른 성형성, 가공성, 용접성 등을 충분히 고려해야만 할 것이다. 특히 용접에 있어서는 적절한 지그의 설계 및 개발이 시급하며, 용접부의 물성을 확보하기 위해서는 여건에 맞는 용접조건이 설정되고, 용접 자동화가 이루어져야 한다. 일반적으로 용접부의 기계적 성질은 구조물 자체가 외적 구속력에 대한 영향을 얼마나 받을 수 있는가에 대하여 판정하는데, 매우 중요하고 용접부에 존재하기 쉬운 여러 가지 결함들로 부터 크랙을 발생시키고 전파시켜 최종 파단에 이르게 하는 주요 원인이 되고 있으며, 인장잔류응력은 크랙전파를 촉진시키고 압축잔류응력은 크랙전파를 지연시키기도 한다고 알려져 있다.

그러므로 ATOS 80 고장력강의 용접특성 및 용접조건에 따른 기계적 성질에 대한 연구가 현장과 같은 조건이 절실히 필요하지만, 국내에서 ATOS 80 고장력강의 용접에 대한 구조용 재료시험에 대한 연구는 많지 않는 실정이다.

따라서, 본 실험에서 고장력강의 용접특성을 평가하기 위하여 다른 내마모성 고장력강보다 국내에서 생산하는 제품 중 스웨덴 철강사인 SSAB로부터 비싼 가격에 수입해 사용하던 것을 포스코의 ATOS80강재로 대체함으로써 원가절감과 수급 안정화라는 두 가지 효과를 얻을 수 있었기에 가장 좋은 기계적 특성을 가지고 있고, 구조용 재료로 많이 사용되어질 전망이 크기 때문에 선정하게 되었다.

다음과 같은 실험을 통하여 ATOS 80 고장력강의 기계적 특성을 평가하고자 하였다.

첫째, ATOS 80의 용접성을 평가하기 위하여 일정한 크기로 기계 가공한 후, 여러 용접조건으로 용접하여 각각의 용접조건에 따른 인장강도, 경도, 충격치 등 기계적 성질을 비교·분석하였다.

둘째, ATOS 80의 용접 작업에 따른 용접부의 메크로 및 마이크로조직을 고찰하기 위하여 구속하지 않은 상태에서의 용접조건과 산업현장과 같은 조건을 주어 구조물에 적용되는 완전 구속 상태의 용접 조건을 적용하여 각각의 조직 상태를 측정하고 비교·분석하였다.

셋째, ATOS 80의 용접 작업시 내부 발생하는 결함을 고찰하기 위하여 용접조건을 각기 달리하여 용접부 내부 결함 존재 상태를 각각 비교·분석하였다.

이에 본 연구에서는 불도저의 삽날 및 붐대, 크레인의 붐대, 굴삭기의 붐대, 크롤러 드릴의 붐대, 덤프트럭의 적재함, 건설기계의 프레임, 각종 농기계의 날 및 프레임 등에 활용도가 높은 80kg/mm<sup>2</sup>급 ATOS 고장력강의 기계적 특성시험, 방사선검사, 용접 단면의 메크로 조직검사 및 미세조직검사를 통하여 용접 특성 및 결함을 규명하고, 최적의 용접조건을 제시하고자한다.



## 제2장 실험방법

### 제1절 관련 이론

#### 1. 인장시험에 영향을 미치는 인자

##### 가. 네킹의 형태와 네킹 영역에서의 응력분포

네킹은 일반적으로 연성금속의 경우 인장변형 중 최대 하중점에서 시작된다. 가공경화가 일어나지 않는 이상적인 소성재료는 인장할 때 항복이 시작되면서 불안정해지면서 네킹이 시작된다. 그러나 실제 금속은 가공경화가 일어나 변형이 증가함에 따라 시편 단면의 길이가 증가함에 따라 점차로 감소한다. 이 효과 중 가공경화에 의한 시편의 하중 수용능력의 증가보다 시편의 단면적 감소로 인한 응력의 증가가 클 때, 즉 국부적 변형이 시작된다. 국부적인 변형을 유발하는 이러한 불안정한 조건은  $dp=0$ 으로 정의된다. 인장시험에서 네킹의 형성은 복잡한 3축 응력상태를 유발하며, 네킹이 일어난 영역은 완만한 곡률을 갖는 노치(notch)이다. 인장시험시 노치는 원주방향과 횡방향 응력을 유발시켜 소성유동을 일으키는데 필요한 인장축의 응력을 증가시킨다. 그러므로 Fig. 2-1과 같은 네킹지역에서는 기하학적인 형태와 이 국부변형에 의한 응력분포를 보인다. Fig. 2-2의 곡률반경 값은 네킹지역의 곡률반경으로 이것은 네킹지역을 스크린상에 영상하거나 원추형 곡률계이저를 사용하여 측정할 수 있다.

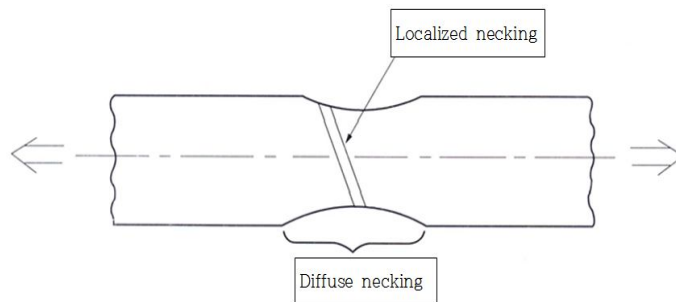


Fig. 2-1. Diffuse necking and localized necking occur to the flake specimen

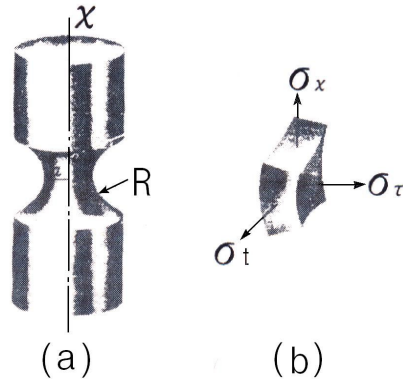


Fig. 2-2. Geometric type of necking part(a) and apply stress to point(b)

### 나. 시험편 단면모양

시험편 단면 형상을 변화시키면서 풀립 열처리한 연강 재료에 대하여 인장강도 및 항복점 등의 차이를 측정하면, 원형 단면시험편이 인장강도 및 항복점이 가장 높고, 그 다음 직사각형 단면시험편이고, 'U'형의 단면시험편이 가장 낮다.

### 다. 시험온도의 영향

인장시험에서 얻은 응력-변형률( $\sigma$ - $\epsilon$ ) 곡선과 유동 및 파괴성질은 시험이 수행되는 온도에 크게 의존한다. 일반적으로 시험온도가 높을수록 강도는 감소하고 연성은 증가한다. 그러나 어떤 온도에서는 석출, 변형시효, 재결정과 같은 미시적인 구조변화가 일어나 이러한 일반적인 거동이 반대일 수도 있다. 고온에서는 열적 활성화 과정들이 변형을 도와 강도를 감소시킨다. 고온에서 오래 동안 노출이 되면 구조적 변화가 일어나 시간 의존적 변형, 즉 크리프가 일어난다.

### 라. 변형속도의 영향

시험편에 부과되는 변형속도는 유동응력에 큰 영향을 미칠 수 있다. 변형속도는  $\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt}$ 로 정의되며, 종전부터 일반적으로  $\text{sec}^{-1}$ 의 단위로 표시된다. 일반적으로 변형속도에 대한 실험 예를 Table 2-1에 나타내었다.

Table 2-1. Specturm of strain ratio

| Range of strain velocity              | Test conditions and appearance                                                           |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $10^{-8} \sim 10^{-5} \text{ S}^{-1}$ | Creep test in fixed load or stress                                                       |
| $10^{-5} \sim 10^{-1} \text{ S}^{-1}$ | Silence tensile test of tention tester in hydrodynamic and screw                         |
| $10^{-1} \sim 10^2 \text{ S}^{-1}$    | Dynamic Tensile or compression test                                                      |
| $10^{-2} \sim 10^4 \text{ S}^{-1}$    | High speed test to impact test<br>(consider to spread effect of wave form)               |
| $10^4 \sim 10^8 \text{ S}^{-1}$       | High-speed impulse from gas rifle or explosion<br>reclaim 041(spread of shock wave form) |

변형속도는 강도에 민감하다. 저탄소강의 경우 일반적인 하중 속도에서 항복점이 나타나지만 높은 변형속도 하에서는 나타나지 않는다.

## 2. 비커스경도시험과 비커스 경도값 계산

### 가. 비커스경도시험

실제로는 압흔의 대각선 길이가 200~500 눈금 범위에서는 5, 10, 20, 30, 50kg 중 어느 것을 선택해도 좋다. 하중 부하속도가 아주 빠르면 추나 지레 등, 하중계 관성의 영향으로 경도는 낮게 측정된다. 그 정도는 사용하는 하중이 작을수록 또는 시료가 딱딱할수록 현저하다. 이를 피하려면 하중은 충격을 피하고 서서히 증가하여 규정의 크기에 이르도록 해야 한다.

하중을 규정의 크기로 장시간 유지하면 경도값이 상당히 저하한다. 측정치의 안정성이나 유지시간 변동의 영향을 고려하면 장시간이 좋으나 측정 능률을 중시하는 실제적인 면에서 KSB 0811 등의 규정과 같이 특별히 지정하는 바가 없으면 10~15초로 한다. 시험하중의 부하는 대략 Hv 700인 시료를 놓고 시험하중 30kg을 가하기 시작하여 끝나기까지 소요시간을 5~10초가 되도록 부하속도를 조정하는 것이 좋다. 그리고 시험온도는 10~35℃의 범위로 하고 시험온도에 민감한 재료는 23±5℃로 한다.

그 외에도 측정시 다음과 같은 주의가 요구된다.

- 시험면의 연마는 대각선 길이를 그 측정치의 0.5%, 또는 0.0002 mm 중 어느 것이라도 큰 값까지 측정이 용이할 정도로 마무리한다.

- 시험편은 원칙으로 평면이며, 수평으로 놓는다.
- 시험편의 두께는 대각선 길이의 1.5배 이상으로 한다.
- 다이아몬드 압자의 선단 형상은 압흔을 일상적인 현미경 검사로서 적정 여부를 관찰한다.
- 시험하중은 통상 0.3~50kg까지이나 다른 제한이 없는 한 큰 하중을 사용하는 편이 측정치의 산포를 줄일 수 있으며, 강재는 보통 50kg의 하중을 사용한다.
- 경도를 측정하는 중심위치는 먼저 생긴 압흔의 중심으로부터 4d 이상 또는 시험편의 테두리에서 2.5d 이상인 곳이어야 한다.
- 경도의 수치는 정수 1자리까지로 하고 표시방법은 다음의 예와 같다.  
예 : 30 하중으로 Hv가 250일 때 Hv(30)250로 표시한다.

### 나. 비커스경도 시험 경도값 계산

비커스경도( $H_V$ )는 대면각이  $136^\circ$ 의 diamond pyramid형 압입자로 시험편을 압입하였을 때, 작용하중( $P$ )을 압입된 자국의 표면적( $A$ )으로 나눈 값으로 식(2-1)과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned}
 H_V &= \frac{P}{A} = \frac{\text{Applied Load}}{\text{Contact Area of Indenter}} \\
 &= \frac{P}{\frac{d^2}{2\sin\frac{\theta}{2}}} = \frac{2P\sin\frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{1.854P}{d^2} \dots\dots\dots (2-1)
 \end{aligned}$$

식(2-1)은 다음과 같은 과정에 의해 유도된다.

Fig. 2-3에서 보는 바와 같이 Diamond Pyramid  $ABCB$  = 정사각형  
 $\overline{AB} = \overline{BC} = \overline{CD} = \overline{DA} = S$  이고,  $ABCB$ 의 대각선  $\overline{AB} = \overline{BC} = d$  이다

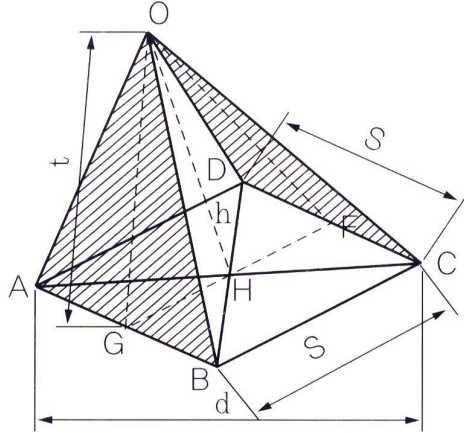


Fig. 2-3. Vickers hardness testing in the surface area of indentation

$\angle FOG = \theta$  대면각 이라하면,  $\triangle OAB \equiv \triangle OBC \equiv \triangle OCD \equiv \triangle ODA$ 이므로 압입된 자국의 표면적(A)는  $\triangle OAB, \triangle OBC, \triangle OCD, \triangle ODA$ 의 면적의 합과 같다.

$$A = \triangle OAB + \triangle OBC + \triangle OCD + \triangle ODA = 4 \times \triangle OAB$$

$$\triangle OGH \equiv \triangle OFH \text{이므로 } \overline{GH} = \overline{FH} = \frac{S}{2}, \angle GOH = \theta$$

$$\triangle OGH \text{에 } \sin \frac{\theta}{2} = \frac{\overline{GH}}{\overline{OG}} = \frac{\frac{S}{2}}{\overline{OG}}$$

$$\therefore \overline{OG} = h = \frac{\frac{S}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} \dots \dots \dots (2-2)$$

따라서  $\triangle OAB$ 의 면적은 다음과 같다.

$$\triangle OAB = \frac{1}{2} \times \overline{AB} \times \overline{OG} = \frac{1}{2} \times S \times \frac{\frac{S}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{\frac{1}{4} S^2}{\sin \frac{\theta}{2}}$$

$$\therefore S^2 = \frac{d^2}{2} \dots \dots \dots (2-3)$$

$$A = 4 \times \triangle OAB = 4 \times \frac{\frac{1}{4} S^2}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{S^2}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{\frac{d^2}{2}}{\sin \frac{\theta}{2}} = \frac{d^2}{2 \sin \frac{\theta}{2}}$$

$$H_V = \frac{P}{A} = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{2P \sin 68^\circ}{d^2} = \frac{1.8544P}{d^2} \dots\dots\dots(2-4)$$



Fig. 2-4. Vickers hardness testing machine

Fig. 2-4는 비커스경도 시험기를 나타내고 있다. 하중 선택은 판 두께 제한 등의 허용범위 내에서 가능한 한 큰 압흔을 만드는 것이 계측 오차를 작게 하는 데 유리하다.

### 3. 충격시험 방법

#### 가. 충격 굽힘시험

##### (1). Charpy 충격시험

Charpy 충격시험 방법은 G. Charpy가 1901년에 발표한 시험법으로 지금까지도 널리 사용되고 있다. 충격 흡수에너지 E는

$$E = WR(\cos\beta - \cos\alpha) \dots\dots\dots(2-5)$$

가 된다. 여기서 W는 중량, R은 펜듈럼의 반경, α와 β는 시편에 대한 충돌 이전과 이후의 각도이다. 그리고 E값을 Charpy 흡수에너지라 부르기도 한다. 시험기의 용량은

$WR(1 - \cos\alpha)$ 로 주어지며, 전술한 바와 같이 일반적으로는  $30\text{kg}\cdot\text{m}$ 의 용량에 사용되거나 강인강은  $50\text{kg}\cdot\text{m}$ 의 것이 사용되며, 경합금이나 주철 등의 취성재료는  $5\text{kg}\cdot\text{m}$ 이하의 작은 용량의 시험기가 사용되기도 한다. 이러한 경우에는 사용된 시험기의 용량을 표시해야 하며 이는 타격속도에 있어서 그 속도는  $2gR(1 - \cos\alpha)^{1/2}$  ( $g$ 는 중력가속도)로 표준시험기의 타격속도는  $5\text{m}/\text{sec}$ 이나 타격속도가 변화하면 파괴기구가 다르고 흡수에너지에 차이가 생기기 때문이다.

## (2). Izod 충격시험

Izod 충격시험은 V노치 시험편의 한 끝을 강고하게 고정하고 다른 끝을 해머로 타격 파단하여 이때의 흡수 에너지를 구하는 시험으로 표준 시험기의 용량은  $16.6\text{kg}\cdot\text{m}$ , 타격속도는 약  $4\text{m}/\text{sec}$ 이다. 시험편이 확실하게 고정된다는 장점은 있으나 고온이나 저온용으로는 적당하지 않으므로 최근에는 그다지 사용되지 않고 있다. KS에서는 충격치로서 파단 에너지( $\text{kg}\cdot\text{m}$ )를 채용하고 있으며 나타내는 수치는 1 자리까지이다.

### 나. 저온 및 고온에서의 충격시험

연성과 전성의 천이온도를 구하기 위한 충격은 일반적으로 저온에서 실시한다. Fig. 2-5는 연성-전성 천이온도를 구하기 위한 충격 시험 예를 나타낸 것이다. 천이온도는 충격에너지 값이 급격히 감소하는 온도로부터 구할 수 있다<sup>29,30</sup>.

저온시험의 경우는 적당한 냉매 중에 침적하여 냉각한 시험편을 재빨리 시험기에 정치하고 곧바로 파괴한다. 시험편을 정치하고 15초간 방치시의 온도상승을 조사한 것을 보면  $-20^\circ\text{C}$ 의 시험편은  $1^\circ\text{C}$ ,  $-60^\circ\text{C}$ 의 시험편은  $3^\circ\text{C}$ ,  $-100^\circ\text{C}$ 의 시험편은  $3.5^\circ\text{C}$ ,  $-190^\circ\text{C}$ 의 시험편은  $5^\circ\text{C}$  정도 상승한다. 따라서 Charpy 충격시험에서는 냉매 중에서 시험편을 꺼내어 5초 이내에 시험을 완료할 수 있으므로 온도상승 문제는 무시해도 된다.

시험편을 액조에 담글 경우, 격자모양의 대에 올려놓고 액조 밑에서 떼어놓으며 액면보다  $25\text{cm}$  이상 가라앉히는 것이 좋다. 그리고  $200^\circ\text{C}$  이하의 온도로 시험하는 경우에는 시험편을 지정온도의  $\pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지된 액조 안에서 적어도 10분간 유지하고,  $200^\circ\text{C}$ 를 초과하는 고온으로 시험하는 경우에는 지정온도의  $\pm 5^\circ\text{C}$ 로 유지된 가열로 중에 적어도 20분간 유지 후 신속히 시험한다. 저온 및 고온에서 시험하는 경우에 시험편의 가열 및 냉각에는 다음과 같은 매체를 사용함이 좋다.

시험 후 파면을 관찰하는 경우가 많으나 냉각된 시험편을 공기 중에 방치하면 이슬이 생겨 녹이 발생하므로 냉각된 시험편은 즉시 알코올에 담가 두는 것이 좋다. Fig. 2-6는 탄소강의 저온 충격시험 결과의 한 예로, 철강 재료는 일반적으로 어떤 온도 이

하에서 급히 취화하며 이를 저온취성이라 한다.

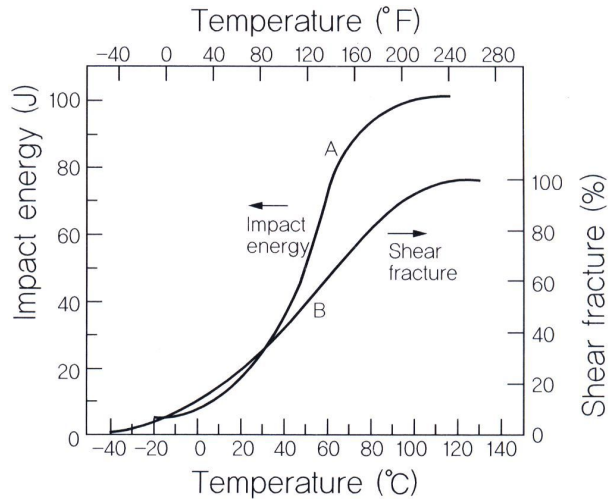


Fig. 2-5. Ductility-malleability transition temperature

Table 2-2. Media and Temperature

| Temperature  | Media                                    |
|--------------|------------------------------------------|
| 500~200℃     | Gas(Use to heat)                         |
| 200℃ ~ 상온    | High temperature oil(Oil tank)           |
| 0℃           | Ice and water                            |
| 0℃ ~ -70℃    | Alcohol or acetone was cooled in dry ice |
| -70℃ ~ -155℃ | Isopentane was cooled in liquid nitrogen |
| -196℃        | Liquid nitrogen                          |



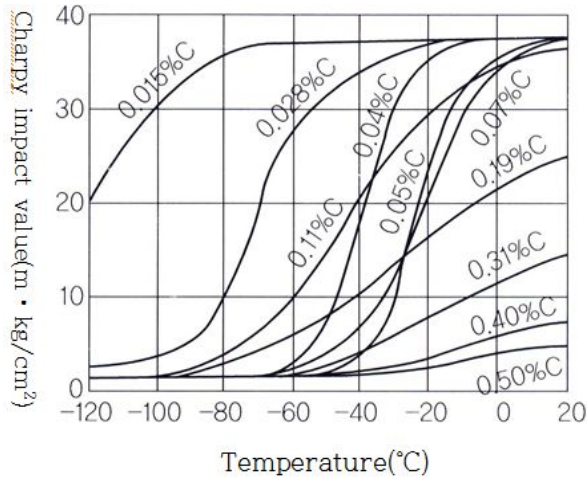


Fig. 2-6. Carbon steel impact value that tempering at the end of quenching

연성파단의 경우는 Fig. 2-7과 같은 파면은 dimple모양을 나타내고, 취성파면은 Fig. 2-8에서 벽개(cleavage)면이 보인다<sup>31)</sup>. 그리고 불순물의 편석 등에 의해 결정립계가 취화된 시료는 Fig. 2-8과 같은 결정립계 파단을 보이는 예도 있다. 저온취성은 어느 온도 이하에서 일어나는 것으로, 급히 취화되는 온도를 천이온도라 하며 천이온도의 표시는 다음과 같다.

- 파면 천이온도(Fracture Appearance Transition Temperature, FATT)

벽개파면이나 입계파면과 같은 결정립상 취성파면의 면적이 원단면적의 1/2이 되는 온도에서 V 노치 시험편을 사용한 경우, 이 온도를  $vT_{rs}$ , 또는  $vT_s$ 라 표시하기도 한다.

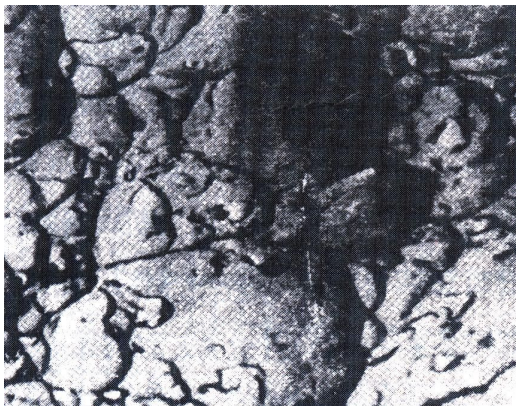


Fig. 2-7. Ductility fracture of Ni-Cr steel

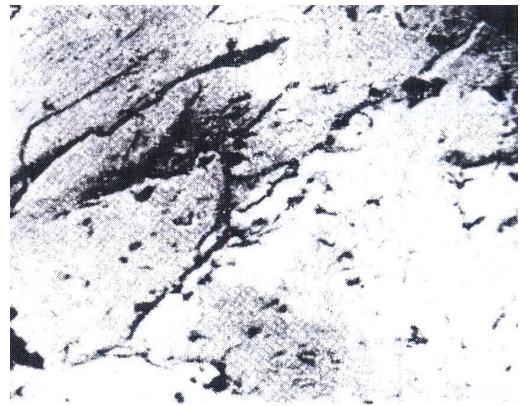


Fig. 2-8. Impact fracture of Ni-Cr steel to -193°C

- 에너지 천이온도

충격치가 인성상태의 값의 1/2이 되는 온도로 V 노치 시험편을 사용한 경우, 이를  $V T_{rE}$ 라 표시하기도 하며 충격치가 15ft-lb, 또는 10ft-lb가 되는 온도를  $T_{r15}$ ,  $T_{r10}$ 으로 표시하기도 한다. 이런 값에서 연성파면은 거의 소멸되거나 용접강구조물에서 일어나는 저응력 취성파괴의 발생도 천이온도와 밀접한 관계가 있으므로 인성의 판정기준으로서 실용적이다. 고온 충격시험은 별도의 진공이나 분위기 중에서 시험편을 가열하고 이를 꺼내 최단시간 내에 시험한다.

## 4. 메크로 조직검사 방법

### 가. 메크로 조직검사 요령 및 표시방법

메크로 조직검사는 여러 가지가 있으나 대표적인 메크로 조직의 검사요령 및 용어와 기호 표시는 Table 2-3, Table 2-4에 나타낸다.

Table 2-3에서 살펴본 바와 같이 메크로 조직은 응고나 가공 공정의 특징상 위치에 따라 다음과 같이 구별해서 분류한다.


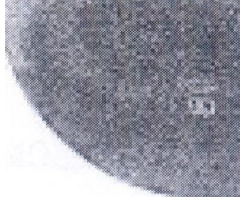
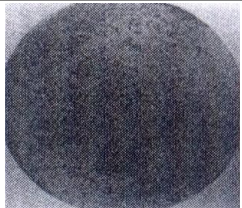

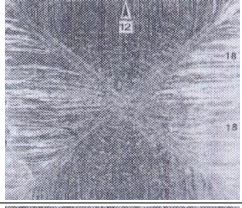

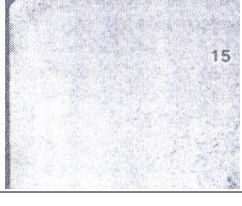
- ① 단면 전체에 나타나는 조직 : 수지상 결정, 잉곳 패턴, 다공질, 피트 등
- ② 중심부의 조직 : 편석, 다공질, 피트 등
- ③ 그 밖의 조직 : 기포, 개재물, 파이프, 모세 균열, 중심부 파열, 주변 흠

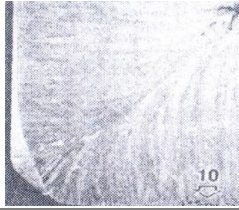
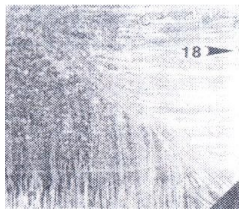

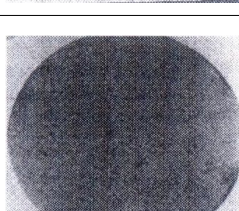
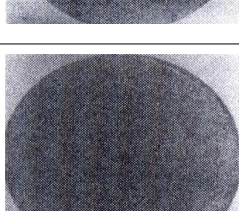
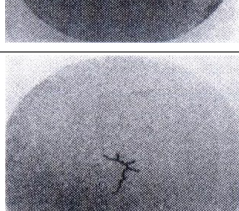
**Table 2-3. Tip of visual structure inspection**

| Objective                                                             | Etchant acid                                                                                                                                                                            | Preparation contact      | Operating                                                                                                                                                               | result                                                                                                        | abstract              |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| dendritic structure<br>recrystallized structure<br>hardened structure | 1 acid :<br>ammonium chloride ammonium(Ⅱ)<br>120g, distilled water1000cc<br>2 acid :<br>ammonium chloride ammonium(Ⅱ) 120g,<br>strong Hydrochloric acid<br>50cc, distilled water 1000cc | abrasive paper for #1000 | The first liquid immersion 5- 10 minute at the room temperature, second liquid wash in the water after immersion for 30-60minute and then wash in the alcohol and dried | Appeared to Primary of Balance assumption, Forged state appears, Quench hardening part appears in black.      | C steel special steel |
| white spot, segregation, slack, irregularity                          | hydrochloric acid :<br>distilled water = 1 : 1                                                                                                                                          | polishing                | Liquid temperature 60~70℃, 30~60minute after Immersion, wash warm water or alcohol and dried                                                                            | -Quenching : Uneven··black,<br>- Slack : Cross-section·· image of point, Longitudinal section ··image of line |                       |

| Objective           | Etchant acid                                                                                         | Preparation contact      | Operating                                                                                                                                                     | result                                                                                                                      | abstract     |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| transverse velocity | 2~3% Sulfuric Acid                                                                                   | abrasive paper for #1000 | Photo paper immersed in liquid for 5 minutes, Remove moisture, it will detecting surface attached to one minute after that the wasing, drying washing settle. | FeS, MnS appears as dark brown.                                                                                             |              |
| Detection of P,S    | Picric acid··5g<br>alcohol acid··100cc                                                               | abrasive paper for #1000 | Wasing, drying after detecting surface corrode lightly and then heating color on the iron plate.                                                              | A large part of P is colored quickly<br>FeS····Purple<br>MnS····White                                                       | Heat tinting |
| Detection of P      | copper chloride(II)··10g<br>magnesium chloride··40g<br>hydrochloric acid····20cc<br>alcohol·· 1000cc | abrasive paper for #1000 | After Liquid dropping on the detecting surface one minute maintenance, dropped back to 신크 and than Copper is settled to wasing, drying                        | If large number of P that less precipitation of copper<br>Determine the amount of P according to the settled copper amount. |              |

Table 2-4. Types and symbols in the macro structures

| Macro picture                                                                       | Term and symbol    | Explanation of term                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Dendrite           | That is after forge welding or vacuum the first crystal developed for arborescence on the coagulation of steel ingot that have as it is the form or vacuum |
|                                                                                     | D                  |                                                                                                                                                            |
|    | Ingot pattern      | That is Corrosion of concentration on contour appeared from coagulation of steel ingot process that changes of crystalline state or ingredient deviation   |
|                                                                                     | I                  |                                                                                                                                                            |
|    | Looseness          | that is Appeared to on the water. it all steel sections or Corrosion progress in a short time on midmost                                                   |
|                                                                                     | L                  |                                                                                                                                                            |
|   | Pit                | That is steel cross section the whole or midmost a Corroded By corrosion that the shape of the hole is formed it can be seen with the naked eye size       |
|                                                                                     | T                  |                                                                                                                                                            |
|  | Center segregation | That is concentration in the midmost appeared from deviation of ingredient in the coagulation of steel ingot process                                       |
|                                                                                     | Sc                 |                                                                                                                                                            |
|  | Center looseness   | That is Appeared to on the water it corrosion progress in a short time at middle of steel cross section                                                    |
|                                                                                     | Lc                 |                                                                                                                                                            |
|  | Center pit         | That is the midmost steel cross section make hole it can be seen with the naked eye size                                                                   |
|                                                                                     | Tc                 |                                                                                                                                                            |

|                                                                                     |                        |                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Blow hole              | That is Ingot of the bubble or pin hole be traces remain to Not completely squeezed                                                           |
|                                                                                     | B                      |                                                                                                                                               |
|    | Non-metallic inclusion | that is non-metallic inclusions it can be seen with the naked eye size                                                                        |
|                                                                                     | N                      |                                                                                                                                               |
|    | Pipe                   | That is primary or secondary pipe fully uncompressed for solidification and Shrinkage of steel ingot and than the trace remains in the center |
|                                                                                     | P                      |                                                                                                                                               |
|   | Air crack              | That is hair-shaped thin furrow to cross section from corrosion.                                                                              |
|                                                                                     | H                      |                                                                                                                                               |
|  | Seam laps              | That is laps from blowhole of steel around or Rolling and forging, besides laps to steel outer perimeter                                      |
|                                                                                     | K                      |                                                                                                                                               |
|  | Forging)               | That is rupture in the midmost from Improper forging operations or rolling work                                                               |
|                                                                                     | F                      |                                                                                                                                               |

메크로 조직검사를 위한 표준 부식시간은 Table 2-5와 같다.

**Table 2-5. Standard etching time with macro structure inspection**

| Standard etching time | Symbol                                                                                                   |                                                                     |                                                |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                       | Forging or rolling                                                                                       | Annealing                                                           | Normalizing                                    |
| 20M                   | SS34, SS41, SS50, SS55                                                                                   | STS405,<br>STS410,<br>STS430                                        | SS34, SS41, SS50,<br>SS55                      |
| 30M                   | SM25C~SM55C<br>SCr415, 420, 430, 435, 440<br>SCM432, 435, 440, 445, 822<br>SPS3, 4, 5, 7, 9, 9A, 10, 11A | SM25C~SM55C<br>SCr445<br>SNM240, 439, 447<br>STCI, 2, 3, 4, 5, 6, 7 | SF35, 40, 45, 50,<br>55, 60, 65<br>SM25C~SM55C |
| 40M                   | SM10C~SM20C<br>SNC1~3, 21, 22<br>CMS21~23                                                                | SM10C~SM2SC<br>CMS25C<br>SNC21, 22, HRS1, 23<br>CMS1~5, 21~23       | SM10C~SM20C<br>SM09CK,<br>SM15CK,<br>SM20CK    |

## 나. 메크로 조직검사 방법

### (1) 탄소강·합금강의 메크로 검사방법

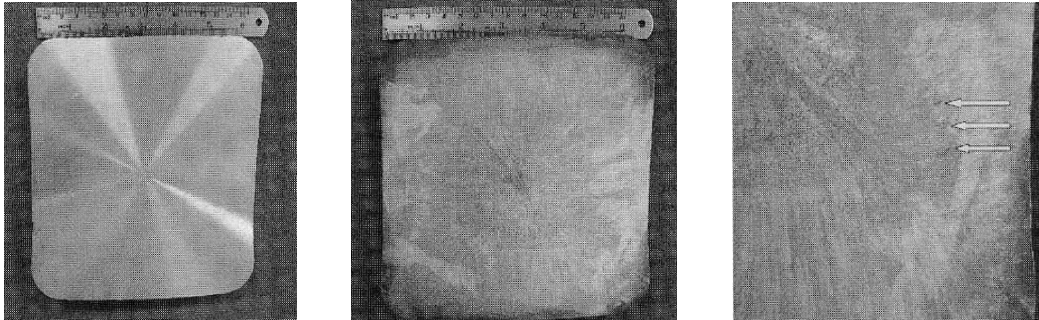
염산법은 비교적 작은 단면 강재의 메크로 조직검사에 적용한다. 염산과 물을 거의 같은 용량의 물로 희석한 부식액으로 내산용기 안에서 75~80℃로 가열하여 사용한다. 부식액은 부식 후의 피검면에 농도 변화가 생기지 않도록 한다.

염화동 암모늄법은 비교적 큰 단면인 강재의 메크로 조직검사에 적용한다. 물 1000 ml에 대하여 공업용 염화동 암모늄 100~350g의 비율로 용해한 것을 부식액으로 하고, 부식은 상온에서 진행하는 동안 표면에 구리가 석출하는데 약 5분간 방치한 후, 석출한 구리를 브러시 또는 헝겊으로 제거하고, 적당한 상태가 얻어질 때까지 3~10회 정도 반복한다.

### (2) 스테인리스강·내열강의 메크로 조직검사 방법

염산법은 스테인리스강 및 내열강, 황수법은 염산법으로 부식시간이 오래 걸리는 강

중에 적용하며, 질산과 염산의 혼합비율을 1 : 3~10으로 하여 상온~80℃에서 왕수에 담근다. 부식 후 처리는 온수 또는 흐르는 물속에서 피검면의 부식 생성물을 재빨리 제거하고, 적당한 알칼리 용액 속에서 중화시킨 후, 열탕으로 충분히 세척과 건조를 통하여 육안으로 판정한다.



(a) STS304 ingot (b) Macro-etching after 30 minutes (c) Sidepiece macro crack observe

**Fig. 2-9. An example of macro etching test in stainless steel**

Fig. 2-9는 STS304를 상온에서 부식한 것이다. 부식시간이 경과할수록 메크로 조직을 점점 선명하게 파악할 수가 있으며, 30분 정도 부식시간이 경과된 시험편의 경우에는 중심부의 편석, 가공 및 측면의 마이크로 크랙(화살표 방향)이 관찰된다.

## 5. 조직 검사

### 가. 검경에 의한 조직 관찰

현미경의 관찰배율은 처음에는 저배율로 시작하여 고배율로 필요한 부분을 찾아 관찰하는 것이 좋으며 처음에는 100~200배가 적당하다. 조직의 형태, 분포상태, 조직량 및 색을 관찰하여 스케치하고 탄소강에서는 페라이트 밴드, 비금속 개재물 등에 대해 관찰한다.

관찰된 조직에는 반드시 배율을 기록하도록 하며, 배율은 대물렌즈의 배율에 접안렌즈의 배율을 곱한 값과 같다. Fig. 2-10은 구상흑연주철의 현미경 조직을 나타낸 것이다.



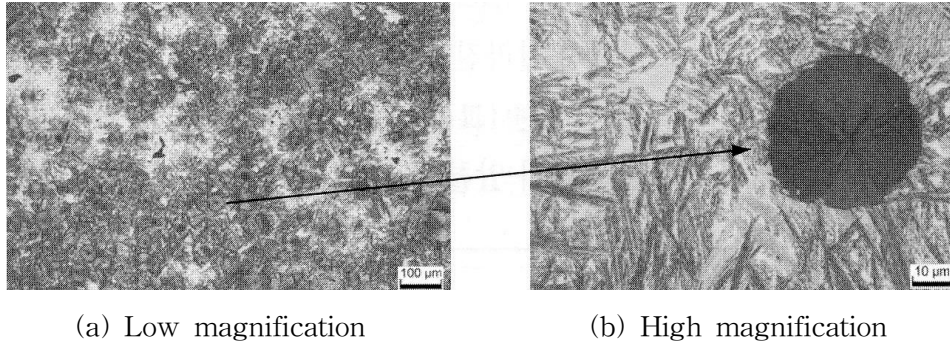


Fig. 2-10. An example of structure observation in nodular graphite cast iron

## 나. 철강의 현미경 조직

### (1) 철강 상태도에 의한 조직의 기초

모든 금속재료는 그 조성과 온도가 정해지면 일정한 조직을 갖게 된다. 이 조성온도에 따른 조직의 관계를 나타낸 것을 상태도라고 하고, 금속재료의 가장 중요한 기초적 성질을 나타내는 그림이다. 탄소(C)를 고용한 철(Fe)의 기본 조직으로서 페라이트(ferrite,  $\alpha$ ), 오스테나이트(austenite,  $\gamma$ ),  $\delta$ -페라이트의 3종류가 있다. Fig. 2-11은 Fe-C 2성분계, 즉 탄소강의 평형상태도를 나타낸 것이다.

평형상태도란 어떤 조성의 합금을 액체 상태에서 천천히 냉각했을 때 조성온도 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 곡선 A-B-C는 액상선이라 하고, 이 선보다 높은 온도영역인 [L]에서는 재료가 액체로 되어 있음을 나타낸다. 액체금속의 온도가 내려가면 액상선으로 교차하는 점(온도)에서는 재료가 응고를 시작하고 [U+ $\gamma$ ]영역에서는 용융금속에서 응고를 완료한 고상의  $\gamma$ 상과 액체(L)가 공존하고 있다. 또 액상이 없는 영역은 모든 응고가 완료된 고상만이 존재하는 상태를 나타내고 있다. 이때 응고를 개시하는 온도선을 고상선이라고 한다. 예를 들어 탄소를 0.3% 포함한 Fe를 약 1600°C로 용융한 상태(액체금속)에서 냉각할 경우의 조직변화를 생각해 보면, 약 1510°C의 X점에 있어서 탄소를 고용한 BCC구조의  $\delta$ 상이 석출하기 시작하고, 포정반응의 변화를 거쳐 약 1470°C의 Y점에서 전량 응고하여 탄소를 고용한 FCC구조의  $\gamma$ 으로 변화한다.  $\gamma$ 의 온도가 내려가 약 810°C에서 BCC구조의 상이 석출하기 시작하고, 723°C(S)에서 「P」로 나타내는 펄라이트가 석출하는데, 이것은  $\alpha$ 상과 혼합된 조직이다. 그 후에는 상태의 변화가 없이 냉각하고 실온에서는 페라이트 + 펄라이트( $\alpha$ +P)조직이 된다.

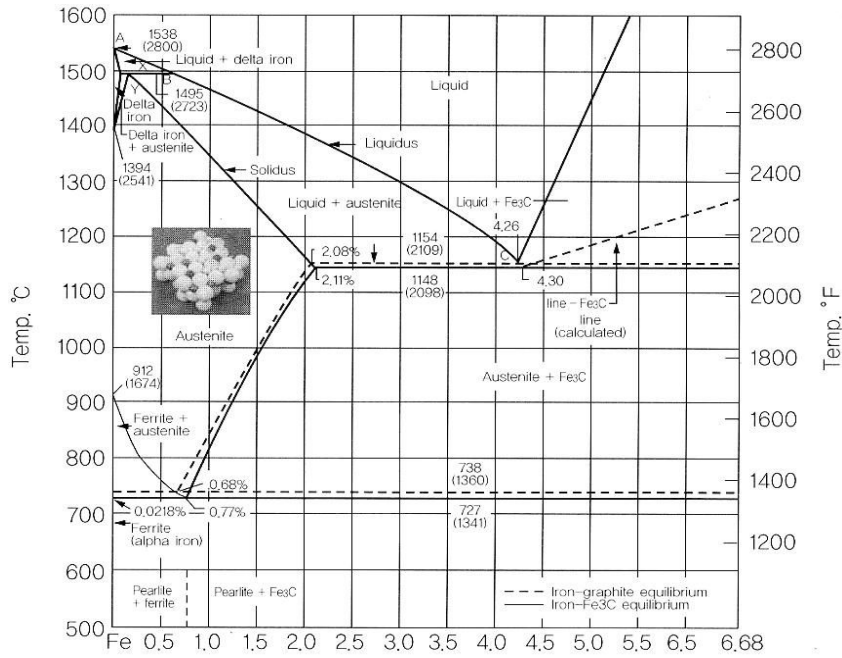


Fig. 2-11. Fe-C equilibrium diagram and standard structure of steel

(2) 현미경조직 관찰

일반적으로 많이 사용되는 재료의 현미경 조직 사진을 나타내었다. Fig. 2-11에서 보듯이 철강은 조성별로 가열과 냉각에 따라 여러 조직이 생성되며, 그 조직에 따라 그 기계적 성질이 달라진다.

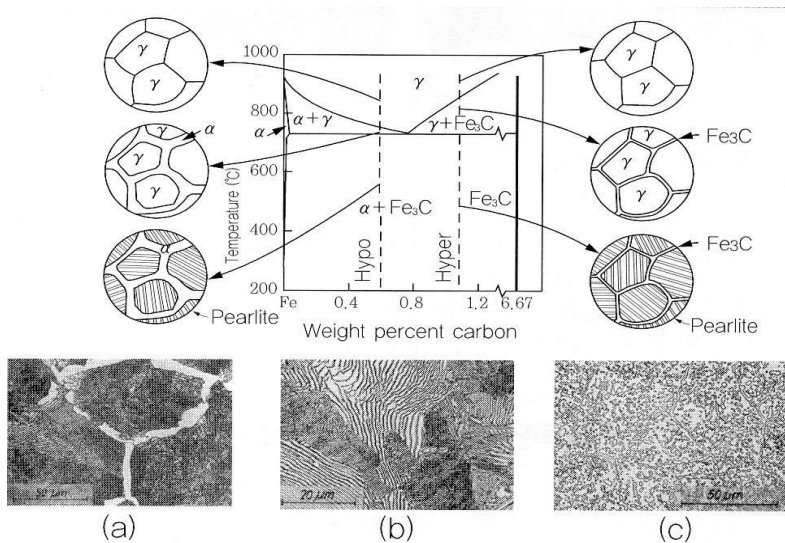


Fig. 2-12. Structure deformation of steel according in Fe-C carbon amount

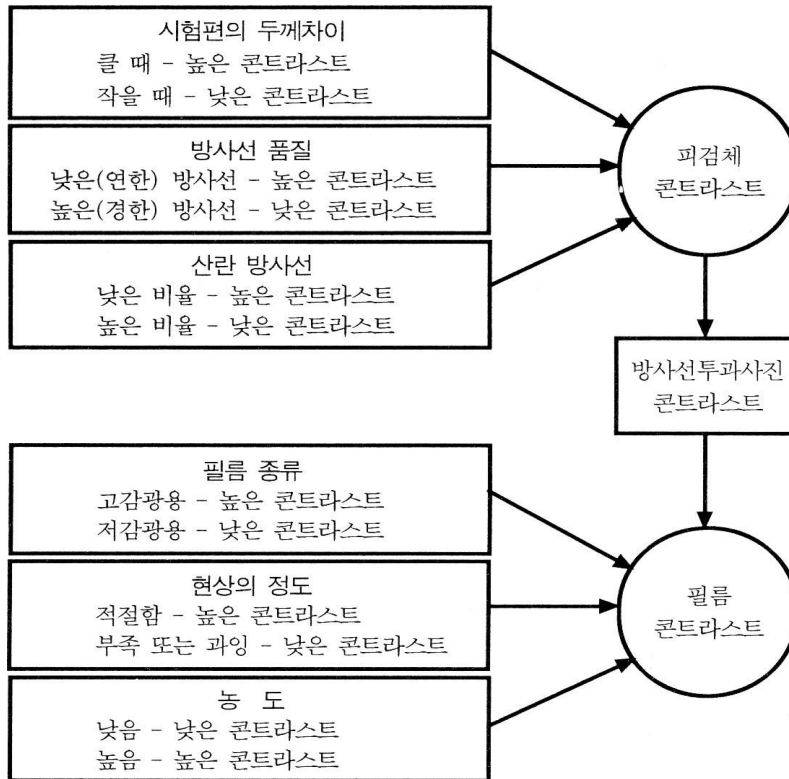
Fig. 2-12에서처럼 철강의 조직관독은 상태도의 냉각경로와 탄소량에 따라 조직을 달리하며, 아공석강에서는 (a)와 같은 페라이트와 펄라이트, 공석강에서는 (b)와 같은 100% 펄라이트, 과공석강에서는 결정입계의 망상 시멘타이트와 내부 펄라이트가 관찰되는데, (c)와 같은 과공석강 조직사진에서는 페라이트 기지에 구상화된 시멘타이트를 관찰할 수 있다.

## 6. 방사선투과 검사

### 가. 방사선투과사진 콘트라스트

시험체를 투과하는 다양한 방사선의 강도가 다르면 방사선투과사진에서 다른 사진농도를 나타낸다. 방사선투과 사진을 관찰하기 위해 투과광 또는 반사광을 사용하는 경우, 배경농도에 대해 관찰한 필름농도의 변화를 콘트라스트로 정의한다. 방사선투과사진 콘트라스트는 주로 피검체 콘트라스트 및 필름 특성곡선 기울기에 의존한다. 피검체 콘트라스트는 시험체의 선정된 두 부분을 투과한 방사선 강도의 비율이다. 필름 특성곡선 기울기는 특성곡선상의 특정 농도점에서 횡축에 그린 접선의 기울기이다. 필름 제조자는 자체 제품의 특성곡선을 제공하게 된다.

방사선투과 시험법의 품질은 여러 변수에 의해 영향을 받는다. 이들 몇 가지 변수에 대한 변화의 영향을 나타낸 것이 Fig. 2-13이다.



비고 : 클래스(class) 1, 2, 3필름의 허용 가능한 농도는 판독기의 성능과 관련이 있다.  
 Fig. 2-13. Quality of radiation project test from variable to deformation effect

### 나. 기하학적 불선명도

기하학적 불선명도를 무시할 수 있을 정도로 작게 하는데, 필요한 초점-필름 사이의 거리는 필름 또는 필름-스크린의 조합, 초점크기 및 시험체-필름 사이의 거리에 의존한다.

기하학적 불선명도 Fig. 2-14(a)는 다음 식으로 구한다.

$$U_g = \frac{Ft}{d_o} \dots\dots\dots (2-6)$$

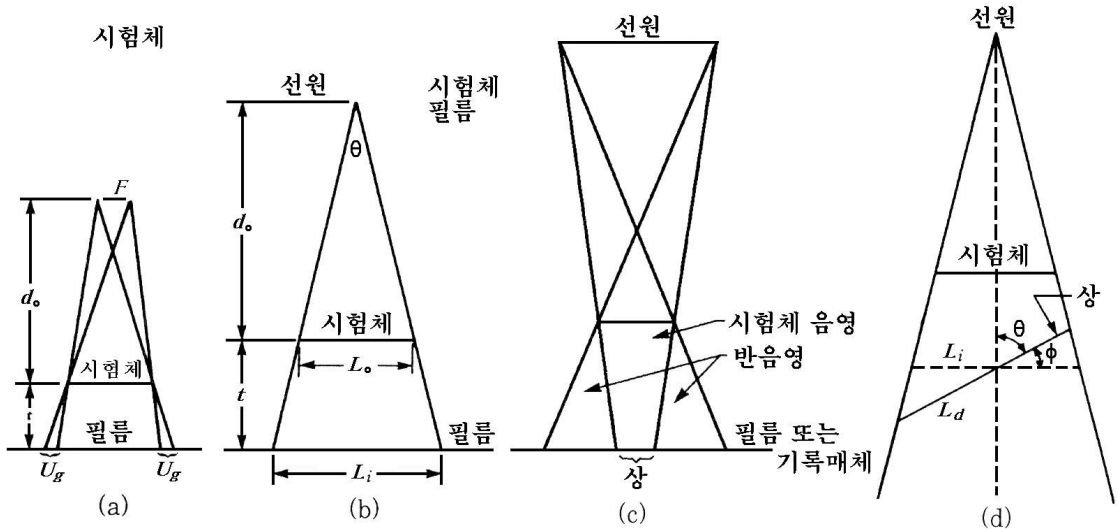
비고 1.  $d_o$  및  $t$ 는 동일한 측정단위 ;  $U_g$ 의 단위는  $F$ 와 동일한 단위.

2.  $U_g$ 의 결정을 위한 계산도표는 Fig. 2-15를 참조

예) 조건 : 선원-필름 사이의 거리( $d_o$ ) = 400 cm,

선원크기( $F$ ) = 5 mm,

시험체의 선원 측에서 필름까지 거리( $t$ )=15cm



- (a) (a) 및 (b)에 대한 기하학적 불선명도 기호설명  
 $d_o$  = 선원-시험체 사이의 거리  
 $t$  = 시험체-필름 사이의 거리  
 $L_o$  = 시험체의 치수  
 $L_i$  = 상의 치수  
 $U_g = Ft/d_o$
- (b) 선원보다 큰 시험체 또는 형상  
 $L_i - L_o = \Delta L$   
 $= 2t \times \tan 1/2\theta$   
 $\Delta L/L_o \times 100 = \text{확대비율}$
- (c) 선원보다 작은 시험체 또는 형상  
 상은 시험체 또는 형상보다 작을 수 있다.
- (d) (d)에 대한 방사선투과사진의 왜곡 기호설명  
 $L_i$  = 왜곡되지 않은 상의 치수  
 $L_d$  = 왜곡된 상의 치수  
 $L_d - L_i = \Delta L$   
 $(\Delta L/L_i) \times 100 = \text{왜곡비율}$

Fig. 2-14. Geometric effect of test body-film

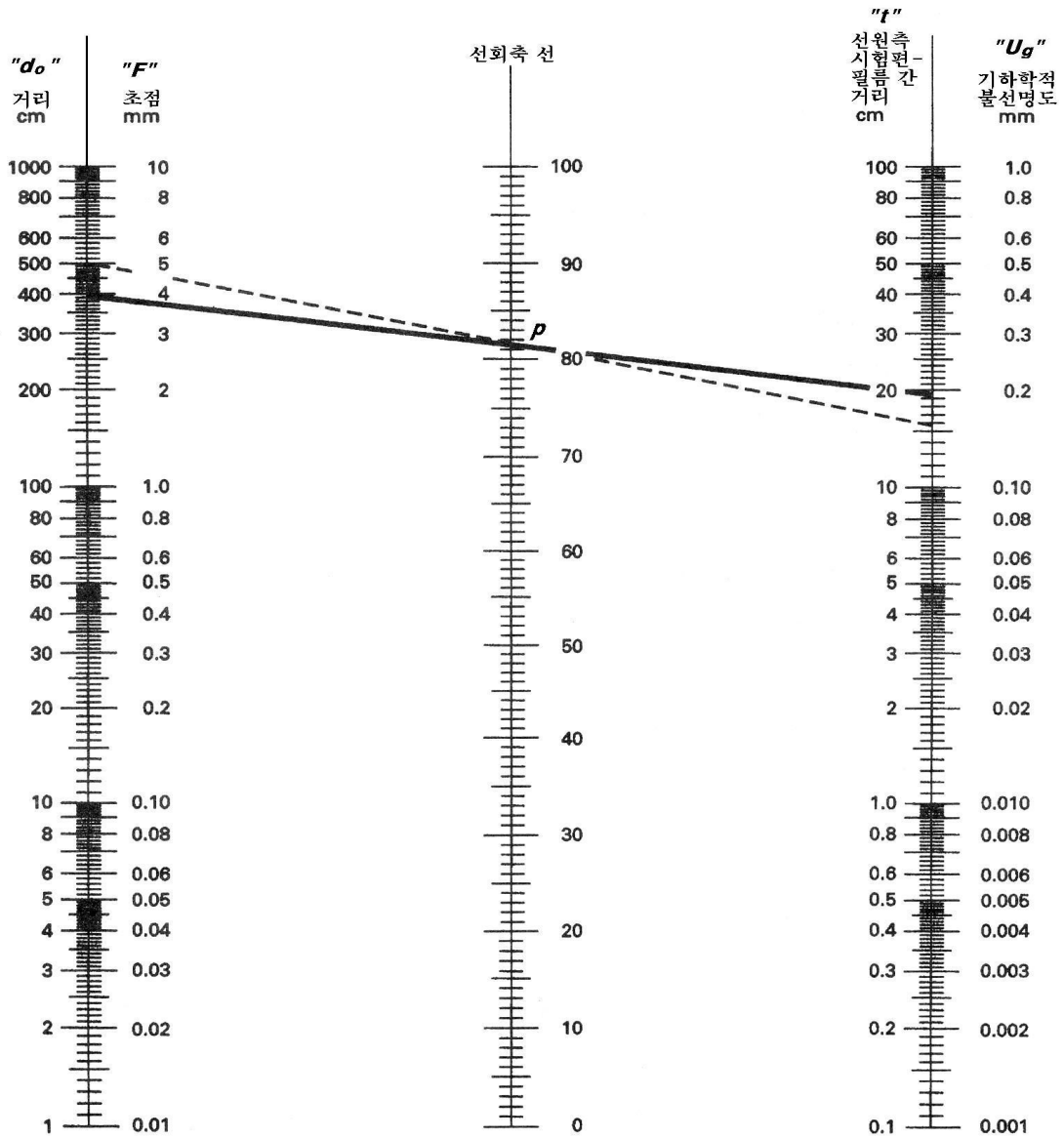


Fig. 2-15. Geometric unsharpness monograph (SI Unit)

$F$  눈금의 5 mm 및  $t$  눈금의 15 cm의 사이에 Fig. 2-15의 점선을 그린다. 이 선과 중심선의 교점  $P$ 를 기록한다.  $d_o$  눈금의 400cm로부터  $P$ 점을 지나는 직선을 그려서 Fig. 2-15의 실선  $U_g$ 의 눈금까지 선을 연장한다.  $U_g$  눈금과 이 선의 교점이 mm로 표시된 기하학적 불선명도가 되며 여기서는 0.19 mm이다.

방사선원 크기  $F$  는 일반적으로 주어진 방사선원에 대하여 결정되어 있으므로,  $U_g$  의 값은 근본적으로 단순히  $d_o/t$ 의 비율로 결정된다.

시험체의 방사선투과 사진의 상이나 시험체 내의 형상은 그림자의 반음영이 방사선투과사진에서 드물게 보이기 때문에 시험체나 시험체의 형상보다 크거나 적을 수도 있다. 그러므로 시험체 또는 형상이 방사선원보다 크다면 상은 커지게 되고, 시험체 또는 형상이 방사선원보다 작다면 상은 작아지게 된다. 감소 또는 확대의 정도는 선원-시험체 사이의 거리 및 시험체-필름 사이의 거리와 선원 및 시험체 또는 Fig. 2-14(b) 및 (c)와 같이 형상의 상대크기에 좌우된다.

방사선 중심 빔의 방향은 가능한 한 필름의 표면과 수직으로 하여야 한다. 필름이 중심 빔과 수직이 아니면, 시험체 상은 왜곡될 수 있다. 시험체상의 다른 부분은 Fig. 2-14(c)와 같이 중심 빔 상쇄에 대한 필름의 범위에 따라 다른 양만큼 왜곡될 수 있다.

기하학적 불선명도( $U_g$ )는 방사선투과 사진의 품질에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 그러므로, 선원-필름 사이의 거리(SFD) 선택이 중요하다. 기하학적 불선명도 식은 정보 및 지침으로 제공되며, 기하학적 불선명도 값을 구하는 방법을 제공한다. 기하학적 불선명도 크기는 방사선투과 사진의 촬영기법을 정할 때 최소화되도록 해야 한다.

## 제2절 실험장비

### 1. GMA 용접 장비

- 출력 : 12.5 KW, 300A
- 작동 : Auto carriage
- 제작 : 조웰(주)

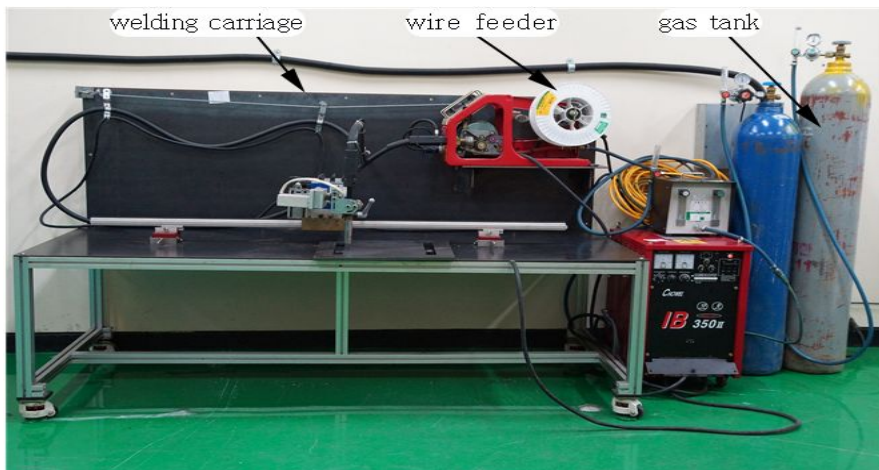


Fig. 2-16. A setup of GMA welding equipment

## 제3장 시험편

### 제1절 시험편의 종류

#### 1. 시험편 재료

본 실험에 사용한 재료는 포항제철 Co.에서 생산된 포스코 고장력강판 ATOS 80으로서 두께 12mm 압연판재를 사용하였다.

먼저 ATOS 80 고장력강의 기계적 성질을 알아보기 위하여 인장시험 및 경도시험을 행하였다. 인장시험은 KSB 0801에 따라 시행하였으며, 경도시험은 마이크로 비커스경도기를 사용하였다. 경도측정용 시험편의 표면을 연마지 #2,000와 컴파운드(cp1000)를 같이 사용하여 연마한 후 산화알루미늄( $Al_2O_3$ , 0.3 $\mu$ m)로 래핑 가공하였으며, 실험에 사용한 하중은 500g, 하중 작용시간 30sec의 조건하에서 60회 측정하였다.

Table 3-1은 본 실험에 사용된 ATOS80 고장력강의 화학적 성분을 나타냈으며, 인장시험과 경도시험을 통해 구한 기계적 성질은 Table 3-2에 나타내었다.

Table 3-1. Chemical compositions of ATOS80 high tensile strength steel(Wt.%)

| C     | Si   | Mn   | P      | S     | Cr   | Mo   | V    | Fe  |
|-------|------|------|--------|-------|------|------|------|-----|
| 0.071 | 0.06 | 1.68 | 0.0136 | 0.038 | 0.02 | 0.15 | 0.06 | BAL |

Table 3-2. Mechanical properties of ATOS80 high tensile strength steel

| Yield Stress (Mpa) | Tensile Stress (Mpa) | Elongation (%) | Hardness (Hv) |
|--------------------|----------------------|----------------|---------------|
| 581                | 773                  | 15             | 195           |

#### 2. 용접 시험편

ATOS80 고장력강 용접이음 홈 형상의 용접조건에서 맞대기이음 용접할 때 두께 1.5~16mm는 V형상으로 두께 12~38mm는 X형상이나 U형상을 선택하도록 되어 있으나<sup>(47)</sup>, FCA는 일반적으로 back packy 을 세라믹으로 뒷받침제로 사용하기 때문에 용접이음부의 개선 모양을 X형 이음보다는 본 실험에서는 현장과 같이 V형 이음 홈 형상으로 정하고, 저합금 고장력강은 일반가스절단으로 어렵기 때문에 레이저빔으로 절단하여 용접시험편을 제작하였다.



본 연구에서는 ATOS 80 고장력강의 용접조건에 따른 제 실험을 측정하기 위하여, 일반적으로 Fig. 3-1과 같이 용접시험편을 구속하지 않은 상태의 비구속 용접하여 실험에 사용하고 있지만, 실제 현장에서 사용하고 있는 구조물은 구속하는 상태에서 용접작업을 하고 있다. 따라서 본 실험에서는 실제 현장에서의 구조물 용접작업 조건과 같은 효과를 내기 위하여 Fig. 3-2와 같이 자체 제작하여 용접 변형을 구속하는 형태의 구속 용접과 구속하지 않은 상태의 비구속 용접하여 제작한 용접시험편을 제 실험을 통하여 용접부의 각각 제 특성을 비교 검토하였다<sup>32,33)</sup>.

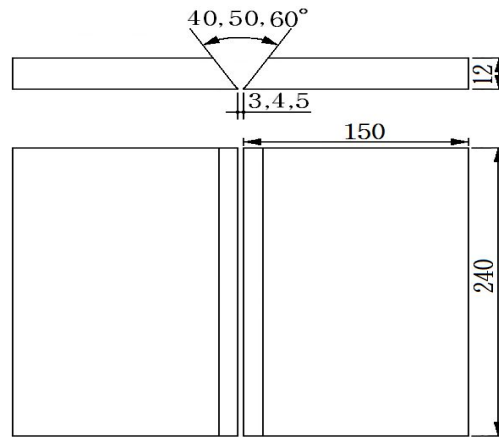


Fig. 3-1. Non-restraint welding joint shape of specimens

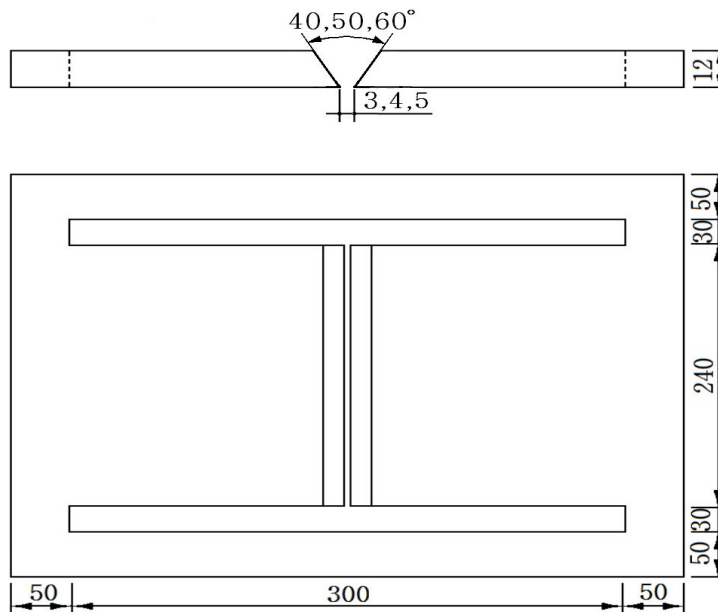


Fig. 3-2. Restraint welding joint shape of specimens

### 3. 용접 조건

본 연구에서는 기계적 시험, 용접조직검사, 방사선검사에 의하여 ATOS 80 고장력강의 용접성을 알아보기 위하여 용접조건을 각각 달리하여 기계적 성질, 용접조직 상태, 용접 내·외부결함을 평가하여 보았다.

ATOS 80 고장력강 용접이음부의 용접성 중 각각의 용접조건에 따라 기계적 성질을 얻기 위해서 입열량을 임의로 일정하게 조절할 수 있는 Auto carriage를 이용한 자동 Flux cored arc welding 을 하였다.

ATOS 80 고장력강 용접이음부의 용접조건은 다음과 같다.

첫째, 용접이음부의 패스 수에 따라 4, 5 패스로 분류하여 각각 A2, A3, A5, A6, A8, A9라 정의하였다.

둘째, 용접부의 실딩가스 양에 따라 15l/min, 20l/min, 25l/min으로 분류하여 B2, A2, B3, B5, A5, B6, B8, A8, B9라 정의하였다.

셋째, 용접이음의 개선 각도에 따라 40°, 50°, 60°로 분류하여 C1, A2, C2, C3, A5, C4, C5, A8, C6라 정의하였다.

넷째, 용접이음의 루트간격에 따라 3mm, 5mm로 분류하여 D1, A5, D3, A8라 정의하였다.

다섯째, 혼합 가스량 비율에 따라 CO<sub>2</sub>10%+Ar90%, CO<sub>2</sub>20%+Ar80%, CO<sub>2</sub>30%+Ar70%로 분류하여 E1, A8, E3로 정의하였다.

여섯째, 용접부의 예열 유무에 따라 F1, A2, F2, F4, C1, F5, A8이라 정의하여 각각 시험편을 분류하여 정의하였다.

용접시험편 제작은 여러가지 조건을 Table 3-3과 같이 SPEC. 번호에 준하여 제작하였다.

Tables 3-4 ~ 3-9는 본 실험에서 사용한 용접시험편들의 용접조건들을 나타내고 있다.

Table 3-3. Welding condition of SPEC. Number

| S / No. | SPEC. number separation       | Substance   |                              |               |                              |                 |                          |
|---------|-------------------------------|-------------|------------------------------|---------------|------------------------------|-----------------|--------------------------|
|         |                               | A           | B                            | C             | D                            | E               | F                        |
| ①       | Welding condition             | pass        | gas amounts                  | opening angle | root gap                     | mixer gas ratio | preheating nonpreheating |
|         |                               | 1           | 2                            |               | 3                            |                 |                          |
| ②       | Joints mixer gas ratio        | 100%        | CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% |               | CO <sub>2</sub> 30% + Ar 70% |                 |                          |
|         |                               | 20          |                              | 25            |                              | 30              |                          |
| ③       | Specimens opening angle       | 20°         |                              | 25°           |                              | 30°             |                          |
|         |                               | 3           |                              | 4             |                              | 5               |                          |
| ④       | Pass the number of times      | 3 pass      |                              | 4 pass        |                              | 5 pass          |                          |
|         |                               | 3           |                              | 4             |                              | 5               |                          |
| ⑤       | Joints root gap               | 3mm         |                              | 4mm           |                              | 5mm             |                          |
|         |                               | 1           |                              |               | 2                            |                 |                          |
| ⑥       | Constraint and unconstraint   | constraint  |                              |               | unconstraint                 |                 |                          |
|         |                               | 20          |                              |               | 30                           |                 |                          |
| ⑦       | Shielding gas amount( ℓ /min) | 20( ℓ /min) |                              |               | 30( ℓ /min)                  |                 |                          |
|         |                               | 1           |                              |               | 2                            |                 |                          |
| ⑧       | Preheating and non-preheating | preheating  |                              |               | non-preheating               |                 |                          |

**Table 3-4. Welding conditions in number of welding passes**

| X-film NO.          | A-2                     | A-3                     | A-5                     | A-6                     | A-8                           | A-9                           |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| SPEC. NO            | A12545<br>1201          | A1255512<br>01          | A1254522<br>01          | A1255522<br>01          | A2254512<br>01                | A2255512<br>01                |
| pass                | 4                       | 5                       | 4                       | 5                       | 4                             | 5                             |
| Constraint relation | Unconstrained           | Unconstrained           | Unconstrained           | Unconstrained           | Unconstrained                 | Unconstrained                 |
| Support             | ceramic                 | ceramic                 | ceramic                 | ceramic                 | ceramic                       | ceramic                       |
| Protect gas         | CO <sub>2</sub><br>100% | CO <sub>2</sub><br>100% | CO <sub>2</sub><br>100% | CO <sub>2</sub><br>100% | CO <sub>2</sub> 20%+<br>Ar80% | CO <sub>2</sub> 20%+<br>Ar80% |
| Route interval (mm) | 5                       | 5                       | 5                       | 5                       | 5                             | 5                             |
| Gas amount (ℓ/min)  | 20                      | 20                      | 20                      | 20                      | 20                            | 20                            |
| Current (A)         | 200                     | 200                     | 200                     | 200                     | 200                           | 200                           |
| Arc voltage (V)     | 24                      | 24                      | 24                      | 24                      | 24                            | 24                            |
| Angle (°)           | 50                      | 50                      | 50                      | 50                      | 50                            | 50                            |
| Speed (cm/min)      | 14.4                    | 14.4                    | 14.4                    | 14.4                    | 14.4                          | 14.4                          |
| Temperature (°C)    | 160                     | 160                     | 160                     | 160                     | 160                           | 160                           |

**Table 3-5. Welding conditions in shielding gas amounts**

|                     |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                             |                             |                             |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| X-film NO.          | B-2                  | A-2                  | B-3                  | B-5                  | A-5                  | B-6                  | B-8                         | A-8                         | B-9                         |
| SPEC. NO            | B1254 51151          | A1254 51201          | B1254 51251          | B1254 52151          | A1254 52201          | B1254 52251          | B2254 51151                 | A2254 51201                 | B2254 51251                 |
| Gas amount (ℓ/min)  | 15                   | 20                   | 25                   | 15                   | 20                   | 25                   | 15                          | 20                          | 25                          |
| pass                | 4                    | 4                    | 4                    | 4                    | 4                    | 4                    | 4                           | 4                           | 4                           |
| Constraint relation | Unconstrained        | Unconstrained        | Unconstrained        | Constrained          | Constrained          | Constrained          | Unconstrained               | Unconstrained               | Unconstrained               |
| Support             | ceramic              | ceramic              | ceramic              | ceramic              | ceramic              | ceramic              | ceramic                     | ceramic                     | ceramic                     |
| Protect gas         | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 20%+ Ar 80% | CO <sub>2</sub> 20%+ Ar 80% | CO <sub>2</sub> 20%+ Ar 80% |
| Route interval (mm) | 5                    | 5                    | 5                    | 5                    | 5                    | 5                    | 5                           | 5                           | 5                           |
| Current (A)         | 200                  | 200                  | 200                  | 200                  | 200                  | 200                  | 200                         | 200                         | 200                         |
| Arc voltage (V)     | 24                   | 24                   | 24                   | 24                   | 24                   | 24                   | 24                          | 24                          | 24                          |
| Angle (°)           | 50                   | 50                   | 50                   | 50                   | 50                   | 50                   | 50                          | 50                          | 50                          |
| Speed (cm/min)      | 14.4                 | 14.4                 | 14.4                 | 14.4                 | 14.4                 | 14.4                 | 14.4                        | 14.4                        | 14.4                        |
| Temperature (°C)    | 160                  | 160                  | 160                  | 160                  | 160                  | 160                  | 160                         | 160                         | 160                         |

Table 3-6. Welding condition in opening angle of welding specimens

|                     |                         |                         |                         |                         |                         |                         |                                       |                                          |                                       |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| X-film NO.          | C-1                     | A-2                     | C-2                     | C-3                     | A-5                     | C-4                     | C-5                                   | A-8                                      | C-6                                   |
| SPEC. NO            | C1204<br>51201          | A1254<br>51201          | C1304<br>51201          | C1204<br>52201          | A1254<br>52201          | C1304<br>52201          | C2204<br>51201                        | A2254<br>51201                           | C2304<br>51201                        |
| Angle(°)            | 40°                     | 50°                     | 60°                     | 40°                     | 50°                     | 60°                     | 40°                                   | 50°                                      | 60°                                   |
| pass                | 4                       | 4                       | 4                       | 4                       | 4                       | 4                       | 4                                     | 4                                        | 4                                     |
| Constraint relation | Uncon<br>straint        | Uncon<br>straint        | Uncon<br>straint        | Const<br>raint          | Const<br>raint          | Const<br>raint          | Uncon<br>straint                      | Uncon<br>straint                         | Uncon<br>straint                      |
| Support             | cerami<br>c             | cerami<br>c             | cerami<br>c             | cerami<br>c             | cerami<br>c             | cerami<br>c             | cerami<br>c                           | cerami<br>c                              | cerami<br>c                           |
| Protect gas         | CO <sub>2</sub><br>100% | CO <sub>2</sub><br>100% | CO <sub>2</sub><br>100% | CO <sub>2</sub><br>100% | CO <sub>2</sub><br>100% | CO <sub>2</sub><br>100% | CO <sub>2</sub><br>20% +<br>Ar<br>80% | CO <sub>2</sub><br>20%<br>+<br>Ar<br>80% | CO <sub>2</sub><br>20% +<br>Ar<br>80% |
| Route interval (mm) | 5                       | 5                       | 5                       | 5                       | 5                       | 5                       | 5                                     | 5                                        | 5                                     |
| Gas amount (ℓ/min)  | 20                      | 20                      | 20                      | 20                      | 20                      | 20                      | 20                                    | 20                                       | 20                                    |
| Current (A)         | 200                     | 200                     | 200                     | 200                     | 200                     | 200                     | 200                                   | 200                                      | 200                                   |
| Arc voltage (V)     | 24                      | 24                      | 24                      | 24                      | 24                      | 24                      | 24                                    | 24                                       | 24                                    |
| Speed (cm/min)      | 14.4                    | 14.4                    | 14.4                    | 14.4                    | 14.4                    | 14.4                    | 14.4                                  | 14.4                                     | 14.4                                  |
| Temperature (°C)    | 160                     | 160                     | 160                     | 160                     | 160                     | 160                     | 160                                   | 160                                      | 160                                   |

Table 3-7. Welding conditions in root gap of welding joints

|                        |                      |                      |                                 |                                 |
|------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| X-film NO.             | D-1                  | A-5                  | D-3                             | A-8                             |
| SPEC. NO               | D125432201           | D125452201           | D225431201                      | A225451201                      |
| Route interval<br>(mm) | 3                    | 5                    | 3                               | 5                               |
| pass                   | 4                    | 4                    | 4                               | 4                               |
| Constraint<br>relation | Constraint           | Constraint           | Unconstraint                    | Unconstraint                    |
| Support                | ceramic              | ceramic              | ceramic                         | ceramic                         |
| Protect gas            | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 20% +<br>Ar 80% | CO <sub>2</sub> 20% +<br>Ar 80% |
| Gas amount<br>(ℓ/min)  | 20                   | 20                   | 20                              | 20                              |
| Current<br>(A)         | 200                  | 200                  | 200                             | 200                             |
| Arc voltage<br>(V)     | 24                   | 24                   | 24                              | 24                              |
| Angle<br>(°)           | 50                   | 50                   | 50                              | 50                              |
| Speed<br>(cm/min)      | 14.4                 | 14.4                 | 14.4                            | 14.4                            |
| Temperature<br>(°C)    | 160                  | 160                  | 160                             | 160                             |

Table 3-8. Welding conditions in mixing gas ratio of welding joints

|                        |                                 |                                 |                                 |
|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| X-film NO.             | E-1                             | A-8                             | E-3                             |
| SPEC. NO               | E125451201                      | A225451201                      | E325451201                      |
| Mixture gas rate       | CO <sub>2</sub> 10% + Ar<br>90% | CO <sub>2</sub> 20% + Ar<br>80% | CO <sub>2</sub> 30% + Ar<br>70% |
| pass                   | 4                               | 4                               | 4                               |
| Constraint relation    | Unconstraint                    | Unconstraint                    | Unconstraint                    |
| Support                | ceramic                         | ceramic                         | ceramic                         |
| Route interval<br>(mm) | 5                               | 5                               | 5                               |
| Gas amount<br>(ℓ/min)  | 20                              | 20                              | 20                              |
| Current<br>(A)         | 200                             | 200                             | 200                             |
| Arc voltage<br>(V)     | 24                              | 24                              | 24                              |
| Angle<br>(°)           | 50                              | 50                              | 50                              |
| Speed<br>(cm/min)      | 14.4                            | 14.4                            | 14.4                            |
| Temperature<br>(°C)    | 160                             | 160                             | 160                             |



**Table 3-9. Welding conditions in preheating and non-preheating of welding joints**

|                     |                      |                      |                      |                      |                      |                              |                              |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|
| X-film NO.          | F-1                  | A-2                  | F-2                  | F-4                  | C-1                  | F-5                          | A-8                          |
| SPEC. NO            | F1254512 02          | A1254512 01          | F1254312 02          | F1204512 02          | C1204512 01          | F2254512 02                  | A2254512 01                  |
| Temperature (°C)    | None                 | 160                  | None                 | None                 | 160                  | None                         | 160                          |
| Mixture gas ratio   | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 100% | CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% | CO <sub>2</sub> 20% + Ar 80% |
| Angle (°)           | 50°                  | 50°                  | 50°                  | 40°                  | 40°                  | 50°                          | 50°                          |
| pass                | 4                    | 4                    | 4                    | 4                    | 4                    | 4                            | 4                            |
| Constraint relation | Unconstrained        | Unconstrained        | Unconstrained        | Unconstrained        | Unconstrained        | Unconstrained                | Unconstrained                |
| Support             | ceramic              | ceramic              | ceramic              | ceramic              | ceramic              | ceramic                      | ceramic                      |
| Route interval (mm) | 5                    | 5                    | 3                    | 5                    | 5                    | 5                            | 5                            |
| Gas amount (ℓ/min)  | 20                   | 20                   | 20                   | 20                   | 20                   | 20                           | 20                           |
| Current (A)         | 200                  | 200                  | 200                  | 200                  | 200                  | 200                          | 200                          |
| Arc voltage (V)     | 24                   | 24                   | 24                   | 24                   | 24                   | 24                           | 24                           |
| Speed (cm/min)      | 14.4                 | 14.4                 | 14.4                 | 14.4                 | 14.4                 | 14.4                         | 14.4                         |

## 4. 시험편

본 연구에서는 용접 조건별로 인장강도시험편, 충격시험편, 경도시험편 등을 각각 기계적 실험을 하기 위하여 채취하여 실험을 하였다. Fig. 3-3은 ATOS 80 고장력강을 용접한 시험편을 각 실험용 시험편을 채취하는 도면이며, Fig. 3-4는 용접시험편에서 각 실험용 시험편을 채취하려는 입체도이다. Fig. 3-5는 용접시험편에서 각 실험용 시험편을 채취한 모양을 나타낸 것이다.

Fig 3-6은 실험에 사용된 인장강도 시험편을 가공하는 제작 도면이고, Fig 3-7은 실험에 사용하는 충격시험편을 가공하는 제작 도면이며, Fig 3-8은 실험에 사용하는 경도시험편과 용접조직 검사시험편을 가공하는 제작 도면이다.

인장강도시험편은 두께 12mm의 판재를 V형 맞대기를 플렉스 코어드 아크 용접을 한 후, 와이어 커터로 치수에 맞게 가공한 다음 두께 11mm 정도가 되도록 밀링가공하여 연삭기로 표면을 연마하였다.

충격시험편도 인장강도 시험편과 같은 방법으로 제작하였으며, 노치는  $\Phi 2\text{mm}$ 의 와이어 커터 머신에 의해 깊이 2mm가 되도록 가공하였다.

경도시험편은 용접시험편을 레이저 빔 절단기로 Fig. 3-3과 같이 채취하여, 단면이 평면이 되도록 밀링가공 → 평면 연마 → 폴리싱으로 마무리하여 제작하였다.

용접조직시험편은 용접시험편을 레이저 빔 절단기로 Fig. 3-3과 같이 채취하여, 단면은 평면이 되도록 밀링가공 → 평면 연마 → 폴리싱 후 용접조직이 잘 나타나도록 부식 처리하여 제작하였다.

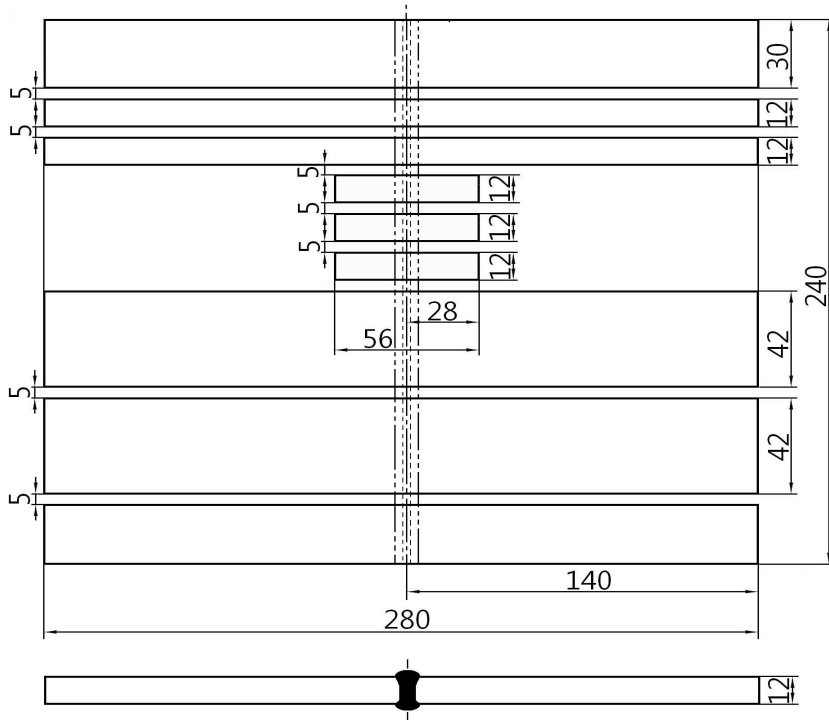


Fig. 3-3. Geometry for the extraction of specimens

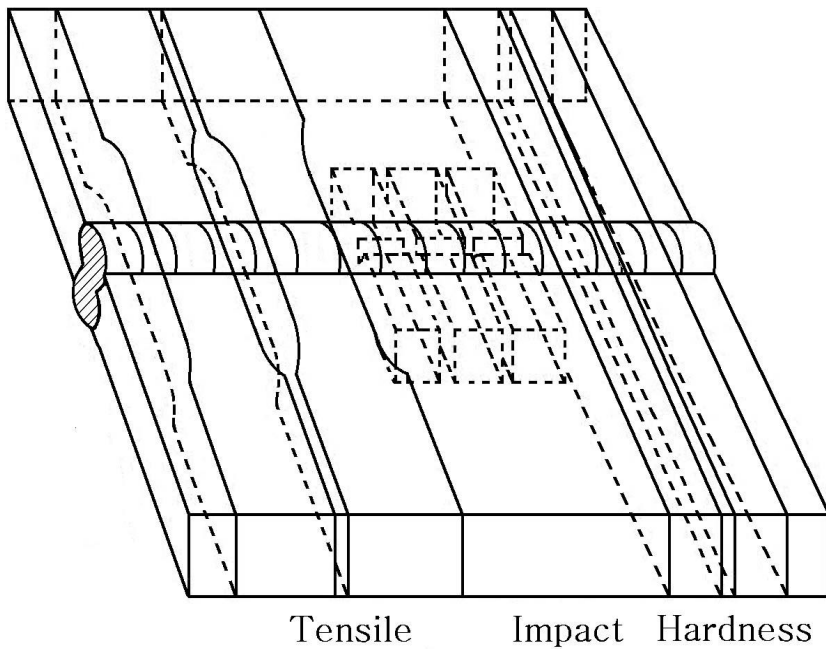


Fig. 3-4. Location for the extraction of specimens

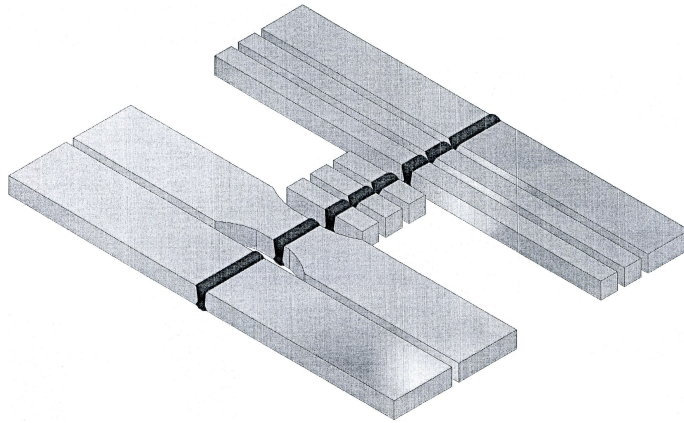


Fig. 3-5. Shape for the extraction of specimens

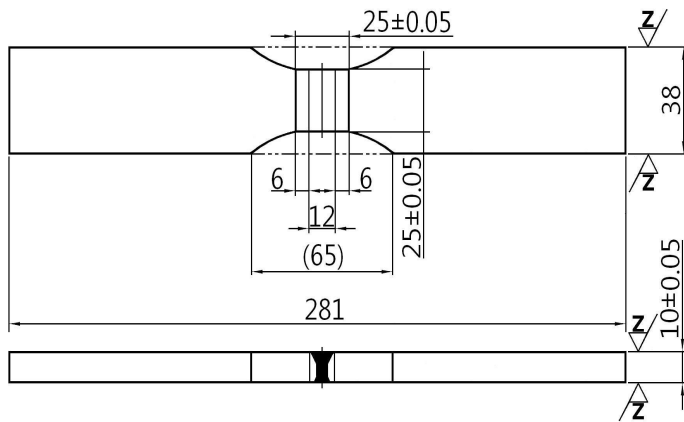


Fig. 3-6. Geometry of tensile test specimens

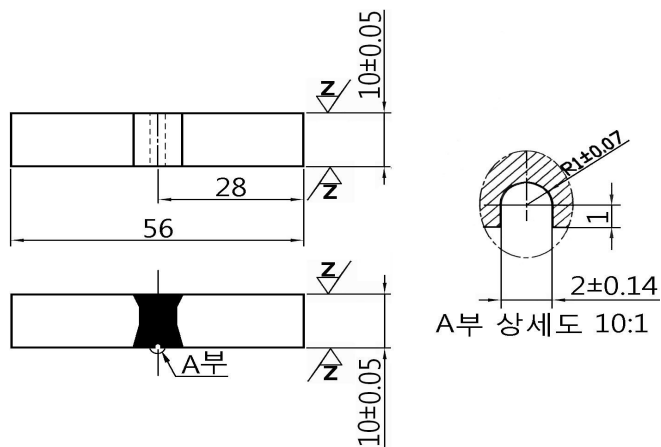


Fig. 3-7. Geometry of impact test specimens

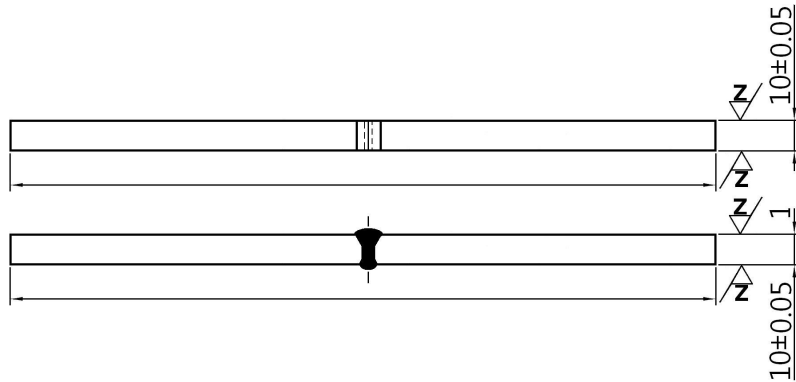


Fig. 3-8. Geometry of hardness and welding structures in specimens

## 5. 용가재 및 용접장치

ATOS 80 고장력강을 플럭스 코어드 와이어로 용접하였는데, 사용된 용접봉은 모재와 같은 성분의 재질로 80킬로급 고장력강용 Flux cored wire AWS A5.29 E110T1-K3C를 사용하였으며, 직경 1.2mm로 릴 형태의 와이어를 사용하였다. 용접봉의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 3-10, 11과 같다

Table 3-10. Chemical compositions of E110T1-K3C welded wire(Wt.%)

| C    | Si   | Mn   | P     | S     | Ni   | Fe  |
|------|------|------|-------|-------|------|-----|
| 0.04 | 0.51 | 1.72 | 0.014 | 0.012 | 2.04 | BAL |

Table 3-11. Mechanical properties of E110T1-K3C welded wire

| Yield Stress (Mpa) | Tensile Stress (Mpa) | Elongation (%) | Impact value (J [kgf · m] 20℃) |
|--------------------|----------------------|----------------|--------------------------------|
| 751                | 834                  | 21             | 80                             |

용접할 모재의 용접부 주위에 먼지, 오물, 수분, 기름 등 불순물이 부착되어 있으면 ATOS 80 고장력강 용접에 악영향을 끼치게 되므로 용접하기 전에 용접개선부 전체를 밀링으로 매끈하게 가공하고, 용접개선부와 그 주변을 Paper Hand-grinder와 wire brush를 사용하여 용접 이음면을 깨끗하게 청소한 후 용접을 실시하였다.

본 실험에서 용접에 사용한 실딩가스는 CO<sub>2</sub> 100% 및 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% 혼합가스를 사용하였으며, 순도는 99.5% 이상으로 사용하였다. 또한, 바람과 먼지, 습기 등이 없는 실내에서 작업을 하였다. GMAW 장치도는 Fig. 2-16과 같으며, 사용한 GMA용

접기는 출력이 12.5KW, 350A인 조웰 CO.에서 제작한 것이고, 청송에서 제작한 Auto carriage 를 이용한 자동 GMA용접기를 사용하였다.

ATOS 80 고장력강의 이면 용접부는 세라믹 백제로 완전하게 실딩하고, 용접조건에 따라 실시하였으며, 용접부의 표면온도가 200℃이하로 될 때까지 공랭시킨 후 각 패스 용접을 하였다.

## 제2절 시험편 제작

본 연구에서는 ATOS 80 고장력강의 용접성 평가 및 방사선시험에 의한 용접결함의 내부평가 및 용접조직시험에 의하여 용착부, 열영향부, 모재 등 용접부에 작용하는 열에 대한 조직 변화를 구속용접과 비구속용접 등 용접조건을 통하여 비교·검토하였다.

먼저, 용접성 평가를 위하여, 용접이음의 패스 수에 따라 3, 4, 5패스로 분류하여 각각 용접시험편을 제작하였고, 실딩가스의 양에 따라 15l/min, 20l/min, 25l/min으로 분류하여 각각 용접시험편을 제작하였으며, 개선각도에 따라 40°, 50°, 60°로 분류하여 각각 용접시험편을 제작하였다.

그리고 용접이음부의 루트간격에 따라 3mm, 5mm로 분류하여 각각 용접시험편을 제작하였고, 혼합가스량 비율에 따라 CO<sub>2</sub> 10% + Ar 90%, CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%로 분류하여 각각 용접시험편을 제작하였으며, 용접이음부의 예열 유무에 따라 각각 용접시험편을 제작하여 제 실험을 다하여 고찰 및 평가를 다하였다<sup>34,35</sup>.

### 1. 인장강도시험

인장강도시험은 Fig. 3-9와 같이 용접시험편에서 채취한 인장강도 시험편을 인장강도시험편 규격에 맞도록 연마가공을 한 후, 인장강도시험편을 인장강도시험기에 고정시키고, 서서히 작업 순서에 따라 인장강도시험을 진행하였다. 항복 전 인장속도는 5mm/min으로 하였고, 항복 이후의 인장속도는 10mm/min의 속도로 인장작업을 하면서 항복강도값과 극한강도값을 구하여 컴퓨터에 저장되어 출력시키므로 각 데이터를 얻게 되고, 파단된 후 연신율은 컴퓨터에 저장된 data를 출력시키므로 전체 실험 데이터를 얻었으며 Fig. 3-10은 시험후의 시험편이다.



Fig. 3-9. After fine grinding of tensile test specimens



Fig. 3-10. After tensile test of specimens

## 나. 경도시험

경도시험은 Fig. 3-11과 같이 용접시험편에서 채취한 경도시험편을 경도시험편 규격에 맞도록 시험편의 표면을 연마지 #2,000와 컴파운드(cp1000)를 같이 사용하여 연마한 후 산화알루미나( $Al_2O_3$ ,  $0.3\mu m$ )로 래핑 가공 등 폴리싱 처리를 하였으며, Fig. 3-12와 같이 경도시험기로 실험하였다. 이 때, 사용한 하중은 500g, 하중작용시간 30sec의 조건하에서 용착부에서부터 본드부, HAZ, TAZ까지 2mm 간격으로 각각 측정하여 얻어진 데이터를 컴퓨터로 출력시켜 데이터를 얻도록 하였다<sup>36,37</sup>.



Fig. 3-11. After fine grinding of hardness test specimens

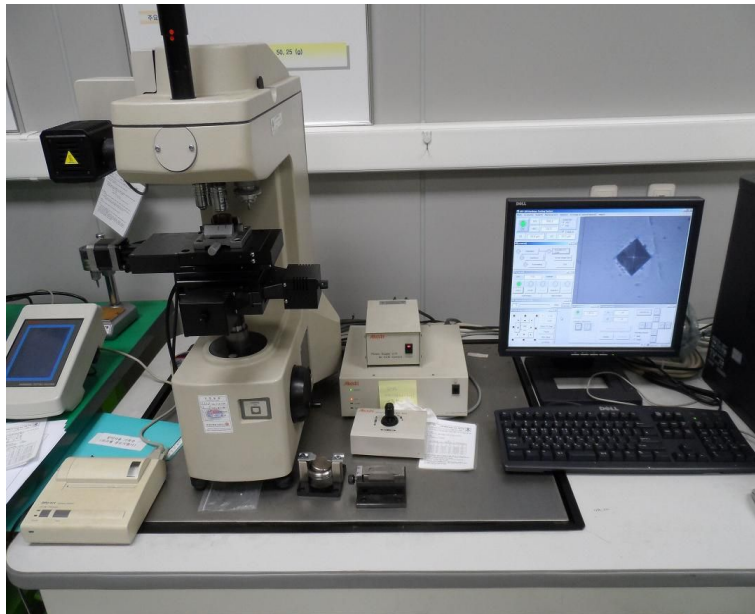


Fig. 3-12. Working of hardness test specimens by universal testing machine



### 다. 충격시험

충격시험은 Fig. 3-13과 같이 용접시험편에서 채취한 충격시험편을 충격시험편 규격에 맞도록 연마가공을 한 후, 충격시험편을 충격시험기에 고정시키고 작업 순서에 따라 충격시험을 진행하였다. 샤르피 충격시험기로 해머의 타격속도는 약 5m/sec의 속도로 타격하여 충격시험편이 파단되었을 때 가해지는 하중값으로 컴퓨터에 저장된 data를 충격치를 출력시켜 실험 데이터를 얻게 하도록 Fig. 2-14와 같이 충격실험을 하였다<sup>38)</sup>.

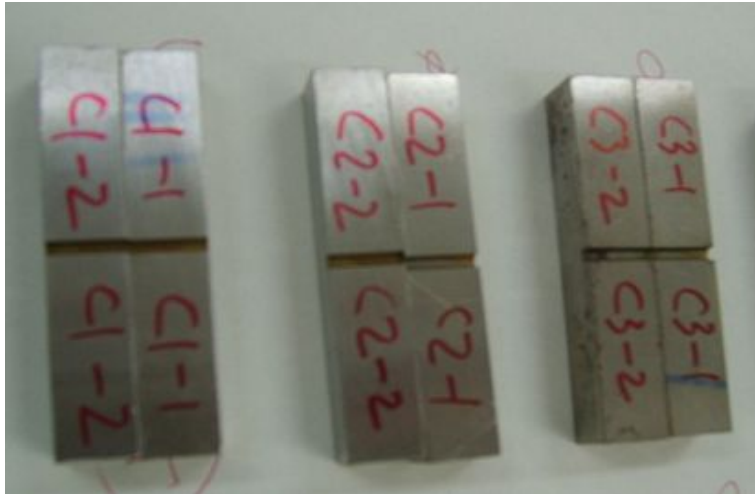


Fig. 3-13. After fine grinding of impact test specimens



Fig. 3-14. After impact test in specimens

### 라. 용접부 메크로 조직검사

용접부 메크로 조직검사는 Fig. 3-15와 같이 용접시험편에서 채취한 용접부 메크로 조직 시험편의 단면을 평면 밀링 가공한 다음 연마가공 및 사포로 폴리싱한다. 연마한 시험편을 알코올로 탈지한 다음, 증류수로 희석한 공업용 염산을 내염산 용기에 부은 다음 75~80℃로 가열한다. 물을 같은 온도로 가열한 후 염산과 같은 비율로 섞어 부식액을 만든다. 메크로 조직 시험편의 부식이 끝나면 검사면의 부식 생성물을 즉시 씻어 내어 건조시킨다. 부식된 용접부 메크로 조직 시험편을 저배율 디지털 카메라가 장착된 현미경에 놓고 Fig. 3-16과 같은 용접부 단면 메크로 조직을 촬영한다.

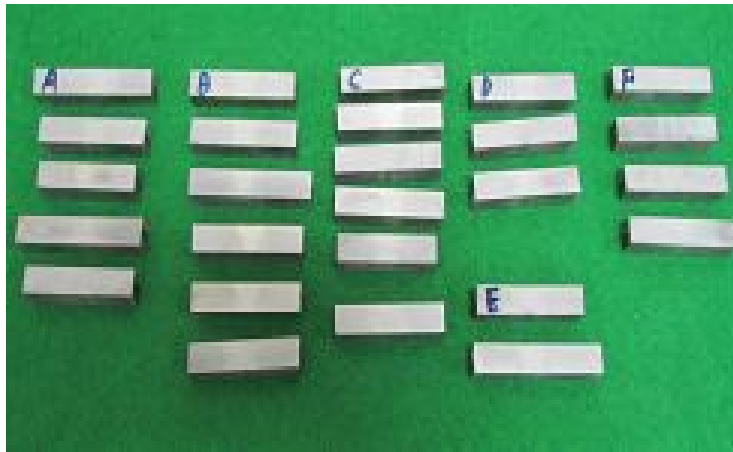


Fig. 3-15. After fine grinding of welding macro structures in specimens



Fig. 3-16. Welding macro structure

### 마. 용접부 용접조직 검사

용접부 용접조직 검사는 Fig. 3-17과 같이 용접시험편에서 채취한 용접부 조직검사 시험편의 단면을 평면이 되도록 밀링가공한 다음 연마가공 및 사포로 폴리싱한다. 연마한 시험편을 초음파 세척기에서 기름, 점성물질, 녹, 먼지 등을 완전히 제거한 다음, 시험편을 주사 전자현미경의 시료대와 함께 전류를 흐를 수 있도록 전도성을 부여한다. 비전도성인 플라스틱으로 마운팅한 용접부 시험편은 진공 증착기를 이용하여 표면에 탄소를 증착한 다음, 주사 전자현미경 시료대에 도전 테이프로 고정하고, 시료대의 높이를 설정하여 맞추어 조절한다. 필요한 가속전압을 설정한 후 주사 전자현미경을 작동시켜 상의 밝기와 명암을 필요에 따라 조절하면서 관찰한다. 배율 조정손잡이로 서서히 배율을 높이고 각 배율에서 포커스를 조정하여 관찰하고, 컴퓨터를 작동하여 용접조직 이미지를 복사하여 상이 컴퓨터에 이송, 저장되도록 주사 전자현미경 용접조직 사진을 Fig. 3-18과 같이 촬영한다.



Fig. 3-17. After fine grinding of welding structure specimens

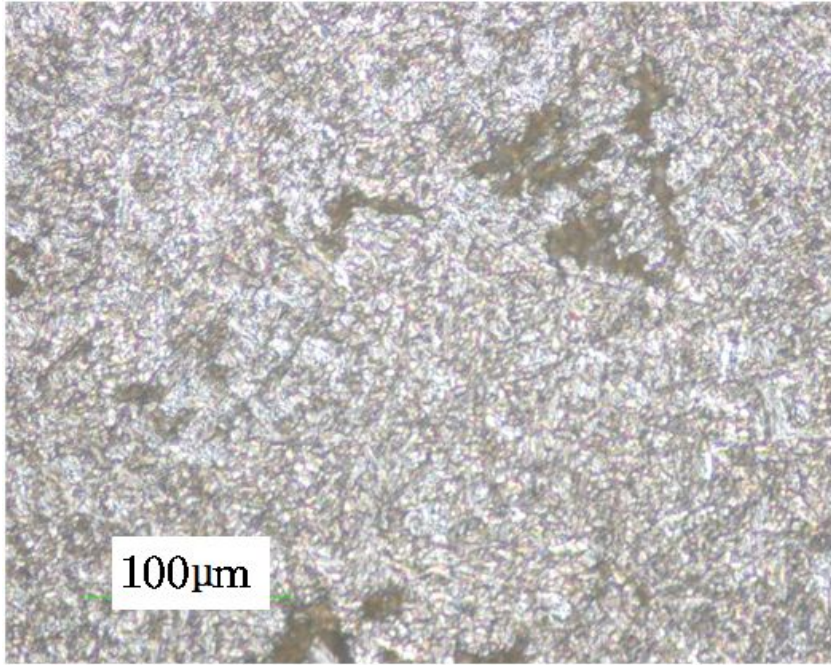


Fig. 3-18. Welding structure by SEM

#### 바. 방사선(X선)투과 검사

방사선(X선)투과 검사는 Fig. 3-19와 같이 용접이 완료된 용접시험편을 검사 위치를 결정하고 난 뒤, 조절 부위를 규정한다. X선 투과검사 장비를 준비한 후, 그 위에 필름을 설치하고, 용접시험편에 방사선을 촬영할 한 조건들을 조정한다. X선 투과 촬영을 한다. 촬영된 필름을 암실에서 현상작업처리를 한다. Fig. 3-20와 같이 현상된 용접부의 각 필름을 판독실에서 판독하여 각 용접부의 결함을 찾아내어 용접결함의 등급을 분류하여 판정한다.

본 시험에서는 Fig. 3-19와 같이 ATOS 80 고장력강을 용접시험편 방사선투과 검사 절차서에 따라 X선 발생장치를 사용하여 관전압 290kvp, FFD 600mm를 적용하였고, 선원-필름간 거리(FFD ; focus film distance)는 70cm이었다. 필름은 폭 114mm, 길이 309mm의 것을, 투과도계는 KS형을, 모재는 12mm를 사용하였다. 부재쪽 흠 마스크와 조사창쪽 평마스크를 적용하여 시험을 수행한 후 20℃에서 5분간 현상하였다. 필름농도는 2.0을 만족하도록 시험하였다.



Fig. 3-19. X-ray Radiographic inspection of ATOS 80 welding specimen

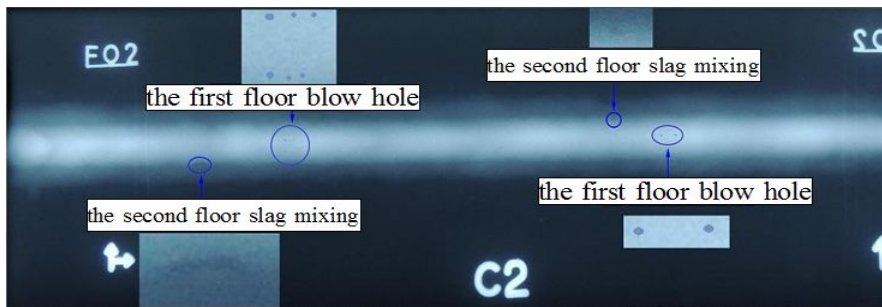


Fig. 3-20. X-ray Radiographic test film in ATOS 80 welding specimen

## 제4장 실험 결과 및 고찰

### 제1절 용접부의 인장강도 특성

본 연구에서는 ATOS 80 고장력강의 용접조건에 따른 인장강도 기계적 성질을 평가하기 위하여 Table 4-1과 같이 각각 시험편을 분류하여 정의하였다.

Table 4-1. Welding Condition and Symbol

| Welding condition     | Symbol                 |
|-----------------------|------------------------|
| Pass number           | A2, A3, A5, A6, A8, A9 |
| Shield amount         | B2, B3, B5, B6, B8, B9 |
| Groove angle          | C1, C2, C3, C4, C5, C6 |
| Root gap              | D1, D2, D3, D4, D5     |
| Shielding mixed ratio | E1, E2, E3             |
| Preheating            | F1, F2, F4, F5         |

인장강도시험용 용접시험편은 맞대기이음 용접한 것으로 한국산업표준 KS규격 KS B 0801(금속재료인장시험편) 12호 12B 규격에 의하여 가공하였으며, 인장강도시험편 제작은 용접부에 열영향을 주지 않기 위하여 먼저 레이저가공으로 직사각형으로 절단하고, 전체 면은 밀링으로 가공한 뒤, 인장부분은 머시닝센터로 가공하였다. 최종적으로 인장강도시험편 규격에 맞도록 연삭기로 가공하였다.

인장강도시험기(UH-F50A)의 용량은 50[ton]이며, 용접조건에 따라 용접한 용접시험편을 인장강도시험 KS규격에 따라 가공하여 인장강도시험을 하여 항복강도, 인장강도, 연신율 등 측정된 결과 후 기계적 성질을 파악하여 비교, 검토하였고, 모든 인장강도시험편의 파단은 대부분 모재부분에서 발생했지만 일부 경계부에서 발생하였고, 구속된 상태에서 5패스로 용접한 시험편만 용착부분에서 파단 되었다<sup>39,40,41</sup>).

용접방법은 Flux cored arc welding 방법으로 시험편의 용접조건에 따라 아래보기자 세로 용접하였다.

#### 1. 용접이음의 패스 수에 따른 인장강도시험

용접이음의 패스 수에 따른 인장강도시험은 각 인장강도시험편의 용접이음의 패스 수에 따라 Table. 3-3과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속 용접과 현장 구조물 작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법으로 실시하여 용접을 진행하였다. 표

4-2는 인장강도시험 후에 인장강도시험편의 파단된 부위를 나타낸 것이다.

Table 4-2. Rupture part of tensile specimens

| X-film NO.   | A2         | A3         | A5         | A6              | A8         | A9         |
|--------------|------------|------------|------------|-----------------|------------|------------|
| Rupture part | base metal | base metal | base metal | deposited metal | base metal | base metal |

Fig. 4-1은 용접이음의 패스 수에 따른 용접부의 인장강도시험에서 얻은 강도값과 연신율을 나타낸 것이다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 비구속 상태의 맞대기 용접이음부에서의 용접패스 수에 따른 인장시험 결과에서는 인장강도값은 같게 나타났으나, 4패스는 항복강도값과 연신율도 적게 나타냈는데, 이것은 용접패스 수가 적어 그 만큼 열처리 효과가 적었기 때문이라 사료되며, 그러나 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%에서 구속한 상태에서 5패스로 용접한 시험편에서는 적은 하중에 의하여 파단되었는데, 이것은 구속 상태에서의 많은 용접패스로 인하여 미세한 조직으로 취성이 높아 용착부가 파단 된 것으로 사료된다. 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%일 때 구속용접이나 비구속용접일 때 4패스가 5패스보다 인장강도가 높게 나타난 것을 볼 수 있다. 즉 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, 비구속 상태의 맞대기 용접이음부에서의 인장시험 결과에서는 4패스가 5패스보다 인장강도가 높고, 연신율이 낮게 나타났다. 전체적으로 볼 때 동일한 용접조건에서는 5패스보다 4패스로 용접하는 것이 더 좋은 것으로 사료된다.

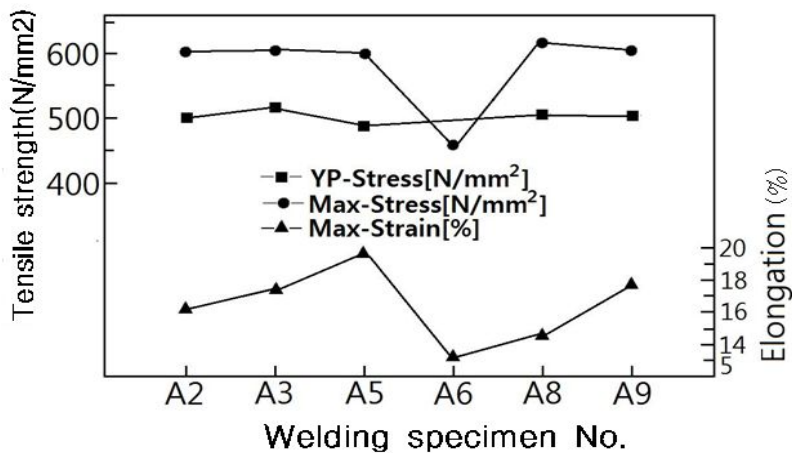


Fig. 4-1. Results of tensile test according to number of welding pass

## 2. 용접부 실딩가스의 양에 따른 인장강도시험

용접부 실딩가스의 양에 따른 인장강도시험은 각 인장강도시험편의 용접부 실딩가스 양에 따라 Table 3-4과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물 작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다. Fig. 4-3은 인장강도 시험 후에 인장강도시험편의 파단된 부위를 나타낸 것이다<sup>42)</sup>.

Table 4-3. Rupture part of tensile specimens

| X-film NO.   | B2         | A2         | B3         | B5         | A5         | B6         | B8   | A8         | B9   |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------|------------|------|
| rupture part | base metal | base metal | base metal | base metal | base metal | base metal | bond | base metal | bond |

Fig. 4-2는 용접부의 보호가스량에 따른 용접부의 인장강도시험에서 얻은 강도값과 연신율을 나타낸 것이다. 보호가스량의 변화에 따라 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%인 것보다 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%인 혼합가스의 인장강도값이 높게 나타났으며, 구속 상태보다 비구속 상태의 맞대기 용접이음부 인장강도값도 약간 높게 나타났다. 인장강도값과 항복강도값, 연신율은 혼합가스량이 15ℓ일 때 20ℓ, 25ℓ 보다 약간 좋게 나타났다. 그러나 방사선검사에서 15ℓ 이나 25ℓ 에서는 많은 결함이 나타났고, 20ℓ의 보호가스량일 때 무결함 상태로 나타났고 인장강도 값이 별로 차이가 나지 않는 것으로 보아 ATOS 80 고장력강의 동일한 용접조건에서는 20ℓ 이 15ℓ, 25ℓ 보다 보호가스량이 적당한 것으로 사료된다.

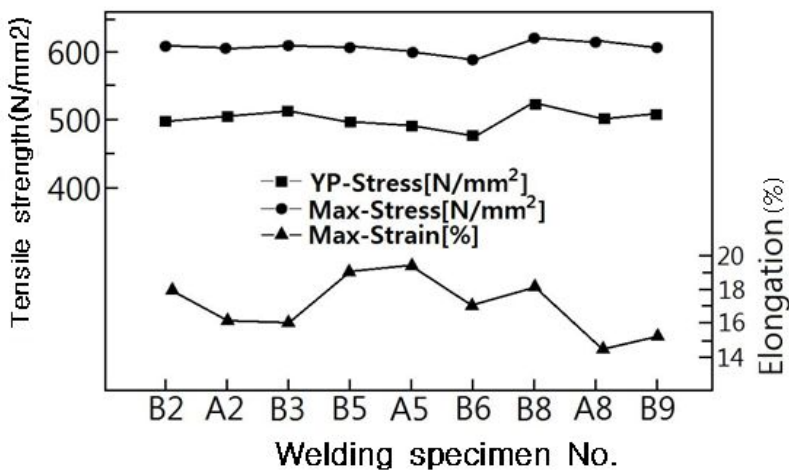


Fig. 4-2. Results of tensile test according to shielding gas amount



### 3. 용접이음부 개선각도에 따른 인장강도시험

용접이음부 개선각도에 따른 인장강도시험은 각 인장강도시험편의 용접이음부 개선각도에 따라 Table 3-5와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물 작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-4은 인장시험 후에 인장시험편의 파단된 부위를 나타낸 것이다<sup>43,44</sup>.

Table 4-4. Rupture part of tensile specimens

| X-film NO.   | C1         | A2         | C2   | C3   | A5         | C4         | C5   | A8         | C6   |
|--------------|------------|------------|------|------|------------|------------|------|------------|------|
| rupture part | base metal | base metal | bond | bond | base metal | base metal | bond | base metal | bond |

Fig. 4-3은 용접이음부의 개선각도에 따른 용접부의 인장강도시험에서 얻은 강도값과 연신율을 나타낸 것이다. 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%, 비구속 상태일 때 맞대기 용접이음부의 인장강도시험 결과 개선각도 40°가 인장강도 및 항복강도, 연신율이 가장 높게 나타났으나, 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 구속 상태일 때 맞대기 용접이음부의 인장강도 시험 결과 개선각도 50°가 인장강도 및 항복강도, 연신율이 가장 높게 나타났으며, 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, 비구속 상태일 때 맞대기 용접이음부에서의 인장강도시험 결과 개선각도 40°가 가장 높게 나타나고, 연신율은 개선각도 60°가 가장 높게 나타났다. 전체적으로 개선각도의 종류별로 인장강도 값이 크게 차이는 나지 않지만, 연신율은 개선각도 종류에 따라 다소 차이가 나는 것을 알 수 있다.

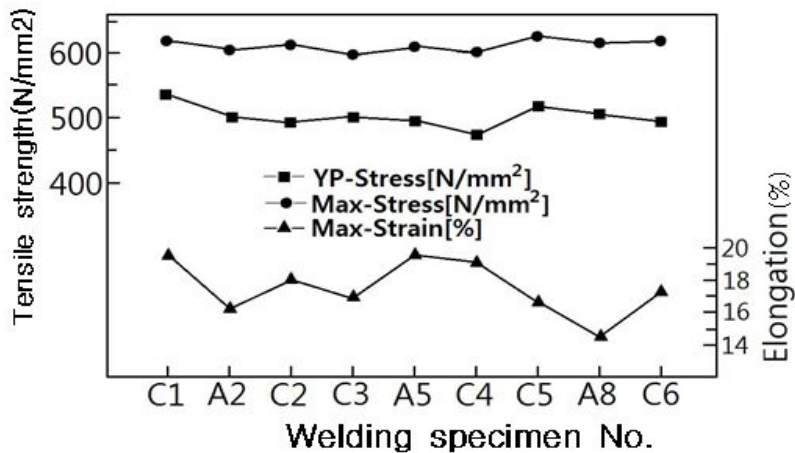


Fig. 4-3. Results of tensile test according to opening angles in welding specimens

#### 4. 용접이음부 루트간격에 따른 인장강도시험

용접이음부 루트간격에 따른 인장강도시험은 각 인장강도시험편의 용접이음부 루트간격에 따라 3mm, 5mm로 분류하여 Table 3-6과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-5는 인장시험 후에 인장시험편이 파단된 부위를 나타낸 것이다.

Table 4-5. Rupture part of tensile specimens

| X-film NO.   | D1   | A5         | D3         | A8         |
|--------------|------|------------|------------|------------|
| rupture part | bond | base metal | base metal | base metal |

Fig. 4-4는 용접이음부의 루트 간격에 따른 용접부의 인장강도시험에서 얻은 강도값과 연신율을 나타낸 것이다. 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%, 구속상태일 때 맞대기 용접이음부의 인장강도시험 결과 루트간격 3mm가 루트간격 5mm에 비하여 인장강도는 약간 높으나, 연신율은 아주 낮게 나타났고, 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, 비구속상태일 때의 비구속 맞대기 용접이음부의 인장강도시험 결과 루트간격 3mm가 루트간격 5mm에 비하여 인장강도는 거의 같으나 연신율은 조금 높게 나타났다. 전체적으로 루트간격에 상관없이 인장강도는 별 차이가 없으나, 연신율은 루트간격의 용접조건에 따라 많이 차이가 나는 것을 알 수 있다.

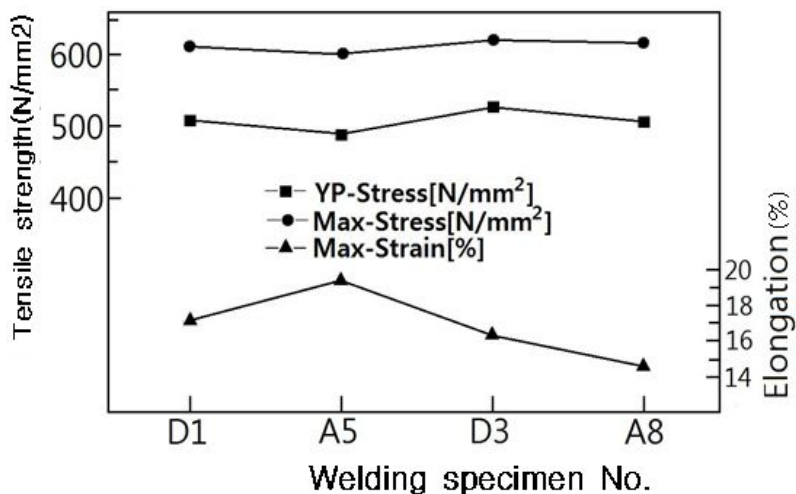


Fig. 4-4. Results of tensile test according to root gaps in welding joints

## 5. 용접부의 혼합가스 비율에 따른 인장강도시험

용접부의 혼합가스 비율에 따른 인장강도시험은 각 시험편에 CO<sub>2</sub> 10% + Ar 90%, CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%의 혼합가스 비율에 따라 보호가스로 사용하여 Table 3-7와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접 방법으로 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-6은 인장강도시험 후에 인장강도시험편의 파단된 부위를 나타낸 것이다.

Table 4-6. Rupture part of tensile specimens

| X-film NO.   | E1         | A8         | E3         |
|--------------|------------|------------|------------|
| rupture part | base metal | base metal | base metal |

Fig. 4-5는 용접부에 혼합가스 비율을 CO<sub>2</sub> 10% + Ar 90%, CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%를 분류하여 보호가스로 사용하여 비구속상태일 때 맞대기 용접이음부의 인장강도시험에서 얻은 강도값과 연신율을 나타낸 것이다.

인장강도시험편 용접부의 혼합가스 비율을 CO<sub>2</sub> 10% + Ar90%, CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70% 보호가스 모두는 인장강도가 거의 같게 나타났으나, 연신율은 CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%가 가장 높게 나타났는데, 이것은 CO<sub>2</sub>의 함유량이 많아서 다른 비율보다 탈산효과가 좋아 연신율이 높게 나타난 것으로 사료된다. 그러나 CO<sub>2</sub> 10% + Ar90%, CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%의 비율을 사용한 용접부의 방사선시험에서는 불합격이 되고, CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% 만이 합격된 것으로 보아 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합비율이 가장 좋은 효과가 있다고 사료된다.

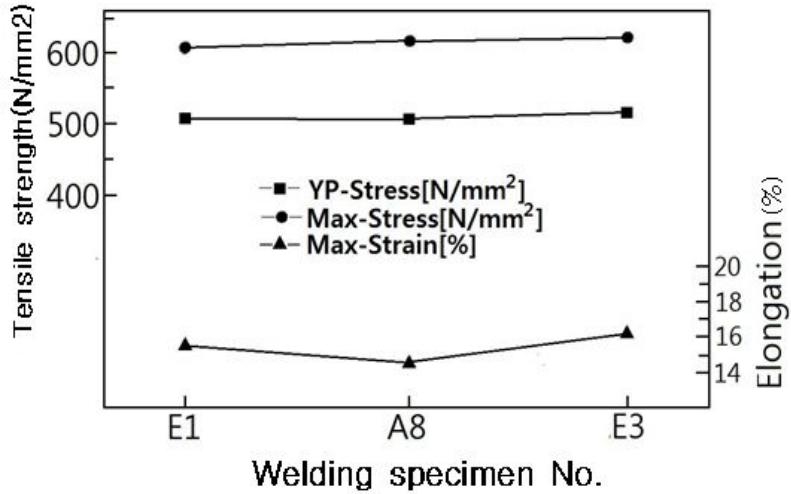


Fig. 4-5. Results of tensile test according to mixing gas ratio in welding joints

### 6. 용접이음부의 예열 유무에 따른 인장강도시험

용접이음부의 예열 유무에 따른 인장강도시험은 각 시험편에 예열 온도 160°C의 예열 유무에 따라 Table 3-8과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접 방법으로 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-7은 인장시험 후에 인장시험편의 파단된 부위를 나타낸 것이다.

Table 4-7. Rupture part of tensile specimens

| X-film NO.   | F1   | A2         | F2         | F4         | C1         | F5         | A8         |
|--------------|------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| rupture part | bond | base metal | base metal | base metal | base metal | base metal | base metal |

Fig. 4-6은 용접하기 전 용접부에 160°C 정도로 예열한 용접시험편과 예열하지 않은 용접시험편을 비구속 용접한 맞대기 용접이음부의 인장강도시험에서 얻은 강도 값과 연신율을 나타낸 것이다.

인장강도시험편 용접부에 동일한 용접조건을 주고, 예열을 주지 않은 F1 용접시험편과 160°C 정도 예열한 A2 용접시험편에서는 예열을 주지 않은 F1 용접시험편이 예열한 A2 용접시험편보다 인장강도와 연신율이 높게 나타났으나, 예열을 주지 않은 F1 용접시험편은 방사선시험 결과 용접결함이 많이 나타났는데, 이것은 예열하지 않아 용

접부에 작은 용접결함이 내포된 것으로 사료된다. 그리고 루트간격이 3mm이고, 예열을 주지 않은 F2 용접시험편이 160℃ 정도 예열한 A2 용접시험편보다 인장강도는 거의 같으나 연신율이 높게 나타났는데, 그것은 루트 간격이 적은 그 만큼 단면적이 적어 용착금속에 열영향이 적었기 때문이라 사료된다.

개선각도가 40°이고 동일한 용접조건에서 예열을 주지 않은 F4 용접시험편과 160℃ 정도 예열한 C1 용접시험편에서는 예열한 C1 용접시험편이 예열을 주지 않은 F4 용접시험편보다 인장강도와 연신율이 높게 나타났다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% 혼합가스 비율에서 인장강도시험편 용접부에 동일한 용접조건을 주고 예열하지 않은 F5 용접시험편과 160℃ 정도 예열한 A8 용접시험편에서도 예열을 하지 않은 F5 용접시험편이 예열한 A8 용접시험편보다 인장강도값은 높게 나타났으나, 연신율에서는 둘 다 CO<sub>2</sub> 100% 용접시험편보다 떨어졌는데 CO<sub>2</sub>의 탈산효과가 떨어졌기 때문이라 사료되며, 방사선시험 결과에서는 F5 용접시험편과 A8 용접시험편 모두 용접결함이 적게 나타났다.

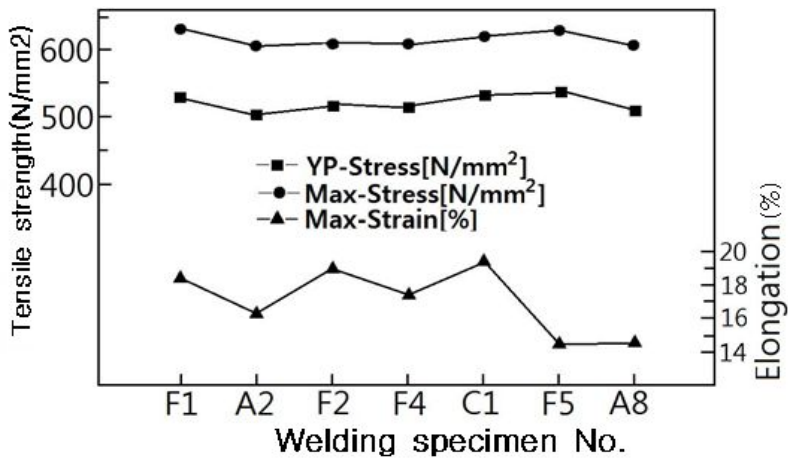


Fig. 4-6. Result of tensile test according to preheating in welding specimens

## 제2절 용접부 단면의 경도 특성

본 연구에서는 ATOS 80 고장력강의 용접조건에 따른 용접부 단면의 경도값을 평가하기 위하여 Table 4-1과 같이 각각 시험편을 분류하여 정의하였다.

경도시험용 용접시험편은 맞대기이음 용접한 그대로 비커스경도를 측정할 수 있는 상태로 용접부 단면을 가공하여 제작하였으며, 시험편 제작은 용접부에 가공 열영향을 주지 않기 위하여, 먼저 레이저 빔 절단기에 의하여 Fig. 3-8과 같이 직사각형으로 절단하고, 전체 용접부 단면을 밀링으로 평면 가공한 후, 연삭기로 표면을 정밀하게 평면이 되도록 연마하였다.

경도시험은 시험편의 용접선 가로 방향으로 용접부의 각 부위(Weld Metal Zone, Bond Zone, HAZ, Temperature Affected Zone)를 마이크로 비커스 경도계로 측정하였고, 그 실험 결과는 Figs. 4-7 ~ 4-25에 나타내었다. 경도측정용 시험편의 표면을 경면 연마한 후 하중 500g, 하중작용시간 30초 동안 작용시켜 2mm 간격으로 측정하고 최대값과 최소값을 제외한 측정결과로 얻었다.

마이크로 비커스 경도시험기는 일본 AKASHI의 제품으로 형식은 AAV-502 것으로 사용하였다.

### 1. 용접이음의 패스 수에 따른 경도시험

용접이음의 패스 수에 따른 경도시험은 각 경도 시험편을 용접이음의 패스 수에 따라 Table 3-3과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-8은 용접 패스 수에 따라 용접한 용접부의 표면비드와 이면비드의 폭과 높이의 수치이다.

Table 4-8. Size of welding in number of welding passes

| X-film NO. | SPEC. NO   | Top bead geometry |            | Back bead geometry |            |
|------------|------------|-------------------|------------|--------------------|------------|
|            |            | width[mm]         | height[mm] | width[mm]          | height[mm] |
| A2         | A125451201 | 20.0              | 1.0        | 11.3               | 3.5        |
| A3         | A125551201 | 19.0              | 1.9        | 10.8               | 3.3        |
| A5         | A125452201 | 20.8              | 1.6        | 14.2               | 4.9        |
| A6         | A125552201 | 23.8              | 1.4        | 12.9               | 4.7        |
| A8         | A225451201 | 18.6              | 1.4        | 12.4               | 3.6        |
| A9         | A225551201 | 18.7              | 1.8        | 11.5               | 3.1        |

Fig. 4-7은 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%, 비구속 맞대기 용접이음부의 용접패스 수에 따른 경도시험에서 4패스인 A2 시험편과 5패스인 A3 시험편의 경도값은 거의 같게 나타났으나, 5패스 시험편의 경우 용착금속의 중심에서 bond부까지 거의 일정하게 하락되어 나타났고, 4패스 시험편은 용착금속의 중심 부분에서 약간 불규칙적으로 나타났다.

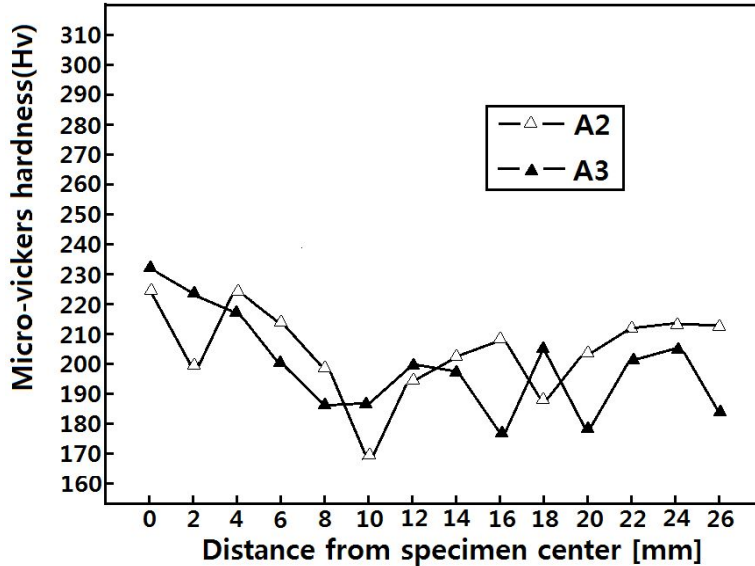


Fig. 4-7. Hardness distribution in welding according to number of welding passin CO<sub>2</sub> 100% and non-restraint welding

Fig. 4-8은 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%, 구속 맞대기 용접이음부에서의 용접패스 수에 따른 경도시험에서 4패스인 A5 시험편보다 5패스인 A6 시험편의 경도값은 아주 높게 나타났는데, 5패스 시험편에서 경도가 아주 높은 것은 많은 용착량과 용접 입열량이 커서 열에 의한 급격한 취성 현상으로 사료되며, 이로 인하여 A6 시험편의 인장강도시험에서도 시험 도중에 용착부에서 파단된 것을 알 수 있다.

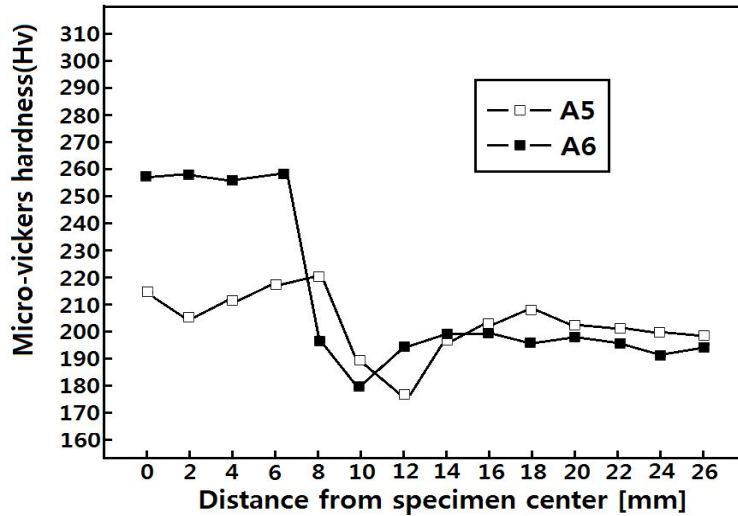


Fig. 4-8. Hardness distribution in welding according to number of welding pass in CO<sub>2</sub> 100% and restraint welding

Figs. 4-9는 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, 비구속 상태의 맞대기 용접이음부에서 용접패스 수에 따른 경도시험에서 4패스인 A8 시험편보다 5패스인 A9 시험편의 경도값이 약간 높게 나타났는데, 4패스인 A8 시험편에서는 용접중심부에서 점차 증가하다가 중간지점에서 경도값이 하락이 되었고, 5패스인 A9에서는 용접중심부에서 점차 증가하다가 bond부 근처에서 경도값이 하락이 되어 열영향부까지 경도값이 하락된 것을 알 수 있다.

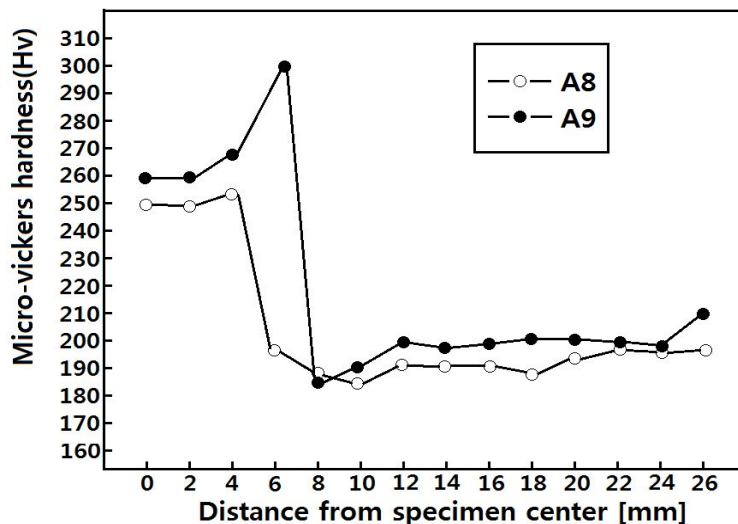


Fig. 4-9. Hardness distribution in welding according to number of welding pass in CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% and non-restraint welding



Figs. 4-10은 용접이음의 패스 수에 따른 전체 용접부의 경도시험에서 얻은 비커스 경도값을 나타낸 것이다. 일반 강의 용접부 경도분포는 용착부와 모재부분에서는 경도값이 낮고 일정하고 열영향부에서는 가장 높게 나타나는데, ATOS 80 고장력강 용접부에는 반대로 용착부에선 경도값이 높게 나타나고, 열영향부에서는 하락하고 된 것으로 나타났다. 그리고 순탄산가스 100% 사용하는 것보다 5패스로 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% 혼합가스 비율과 5패스 구속용접인 경우 경도값이 용착부에 높게 나타나는데, 이것은 혼합가스에 의한 탈산효과가 적고, 구속에 의한 현상으로 인하여 경도가 높게 나타난 것으로 사료된다.

모재 부분의 경도값은 열영향부에서 약간 낮게 되다가 모재 쪽에서는 일정하게 나타난 것을 볼 수 있다.

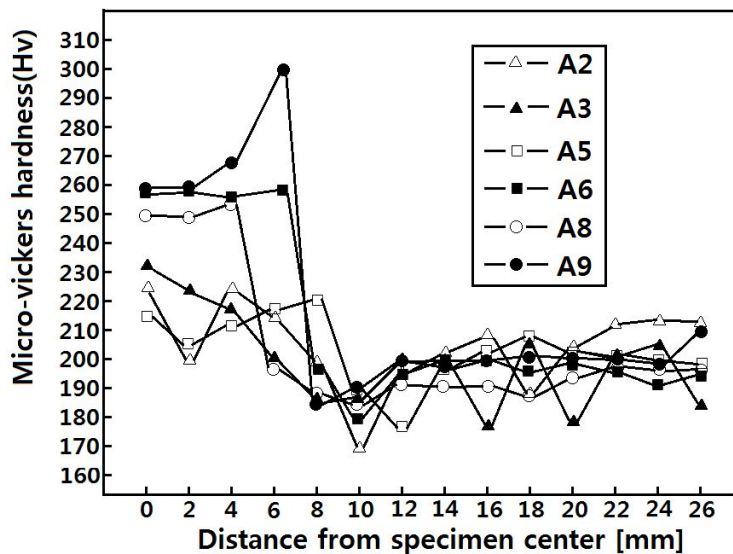


Fig. 4-10. Hardness distribution in welding according to number of welding pass

## 2. 용접부 실딩가스의 양에 따른 경도시험

용접이음의 패스 수에 따른 경도시험은 각 경도시험편의 용접부 실딩가스 양에 따라 Table 3-4와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-9는 용접 패스 수에 따라 용접한 용접부의 표면비드와 이면비드의 폭과 높이의 수치이다.

Table 4-9. Welding size in shielding gas amounts

| X-film NO. | SPEC. NO   | Top bead geometry |            | Back bead geometry |            |
|------------|------------|-------------------|------------|--------------------|------------|
|            |            | width[mm]         | height[mm] | width[mm]          | height[mm] |
| B2         | B125451151 | 19.0              | 1.0        | 11.4               | 3.4        |
| A2         | A125451201 | 20.0              | 1.0        | 11.3               | 3.5        |
| B3         | B125451251 | 7.9               | 1.8        | 9.6                | 3.8        |
| B5         | B125452151 | 20.1              | 1.5        | 13.6               | 4.7        |
| A5         | A125452201 | 20.8              | 1.6        | 14.2               | 4.9        |
| B6         | B125452251 | 20.6              | 2.2        | 12.6               | 3.8        |
| B8         | B225451151 | 12.6              | 3.5        | 10.3               | 3.4        |
| A8         | A225451201 | 18.6              | 1.4        | 12.4               | 3.6        |
| B9         | B225451251 | 17.4              | 3.8        | 11.9               | 4.1        |

Figs. 4-11은 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%, 비구속 상태의 비구속 맞대기 용접이음부에서 보호가스 양에 따른 경도시험에서 보호가스량이 15ℓ인 B2 시험편, 20ℓ인 A2 시험편, 25ℓ인 B3 시험편으로 표시하였다. 보호가스량이 15ℓ와 25ℓ에서 각 지점에서 변동 폭이 적었으나, 20ℓ에서는 열영향부에서 많이 하락되고, 용착부와 모재부분에서 경도 값이 많이 변동되어 나타난 것을 볼 수 있다.

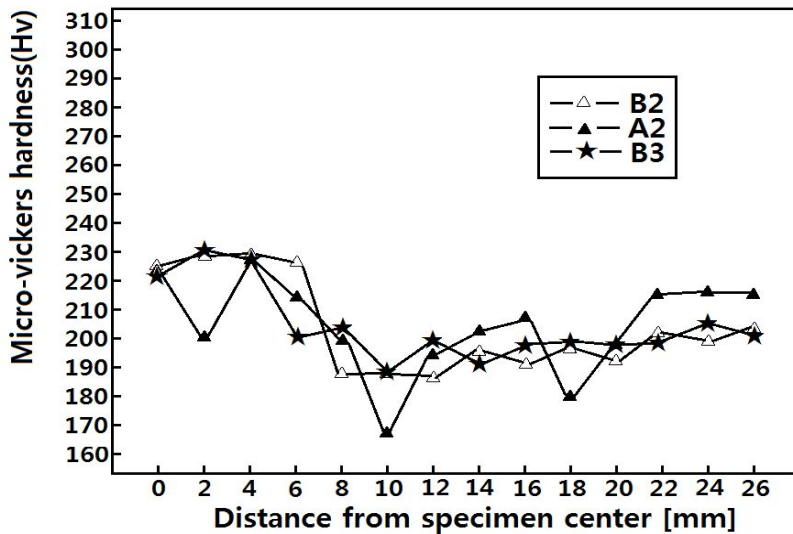


Fig. 4-11. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding shielding in CO<sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding

Figs. 4-12는 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%, 구속 상태의 맞대기 용접이음부의 보호가스 양에 따른 경도시험에서 보호가스량이 15ℓ인 B5 시험편, 20ℓ인 A5 시험편, 25ℓ인 B6 시험편으로 표시하였다.

보호가스량이 15ℓ인 B5 용접시험편에서는 용착부에서는 경도값이 약간 변동되다가 열영향부에서 낮은 경도값을 나타냈고, 모재 끝 부분으로 가면서 상승되는 것을 알 수 있다.

보호가스량이 20ℓ인 A5 용접시험편에서는 용착부에서 본드부로 갈수록 경도값이 높아지다가 열영향부에서 낮은 경도값을 나타냈고, 모재부분에서는 일정하게 경도값이 나타난 것을 볼 수 있다.

보호가스량이 25ℓ인 B6 용접시험편의 용착부에서는 15ℓ, 20ℓ보다 높게 경도값이 나타났고, 열영향부 쪽으로 가면서 낮아지다가 모재부분에서는 일정하게 경도값이 나타나는 것을 볼 수 있다.

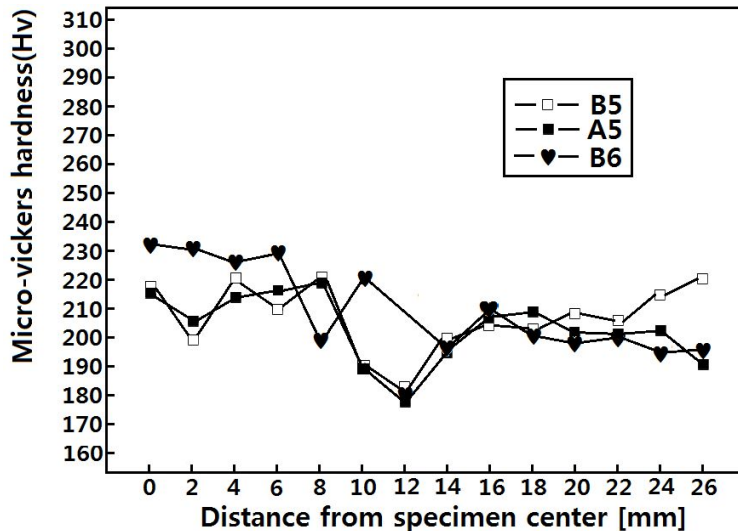


Fig. 4-12. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding shielding in CO<sub>2</sub> 100% of shielding gas and restraint welding

Figs. 4-13은 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스, 비구속 상태의 맞대기 용접이음부의 보호가스 양에 따른 경도시험에서 보호가스량이 15ℓ인 B8 시험편, 20ℓ인 A8 시험편, 25ℓ인 B9시험편으로 표시하였다.

보호가스량이 15ℓ인 B8 용접시험편에서는 용착부에서는 경도값이 일정하게 하락되다가 열영향부에서 심하게 낮은 경도값을 나타냈고, 모재 중심 부분으로 가면서 약간

상승하다가 끝 부분에서 하락되는 것을 알 수 있다.

보호가스량이 20ℓ 인 A8 용접시험편에서는 용착부의 경도값이 약간 높아지다가 본드부에 가기 전에 경도값이 심하게 낮은 경도값이 나타나고, 열영향부에 가서 더 낮아지다가 모재부분으로 가면서 약간 상승하다가 약간 변화되는 것을 알 수 있다.

보호가스량이 25ℓ 인 B9 용접시험편의 용착부에서는 15ℓ, 20ℓ 보다 경도값이 약간 낮게 나타났는데, 본드부에 가면서 높아지고, 열영향부에서는 심하게 하락되었다가 모재부분에서는 약간 상승된 것을 볼 수 있다.

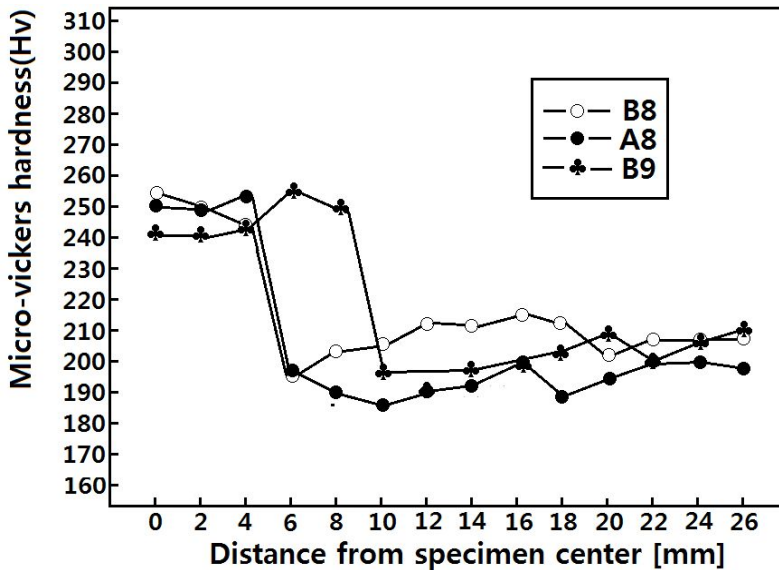


Fig. 4-13. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding shielding in CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% of shielding gas and non-restraint welding

Figs. 4-14는 보호가스량을 15ℓ, 20ℓ, 25ℓ의 공급에 따른 용접부 경도시험에서 얻은 비커스 경도값을 전체적으로 나타낸 것이다. 일반 강의 용접부 경도분포는 열영향부가 가장 높게 나타나는데, 그러나 아토스80 고장력강 용접부에 나타난 경도값은 반대로 열영향부에서 하락하고, 용착부에서는 높게 나타났으며, 모재 쪽으로 갈수록 약간 상승되는 것을 알 수 있다.

또한 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스, 비구속 맞대기 용접이음부에서의 경도 시험값이 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%의 경도값보다 약간 높게 나타난 것을 알 수 있다.

보호가스량 15ℓ로 보호한 시험편이 20ℓ, 25ℓ 보다 조금 안정되게 경도값을 나타낸

것을 알 수 있다. 그러나 방사선시험에서는 20ℓ의 시편이 가장 결함이 적은 것으로 나타났다.

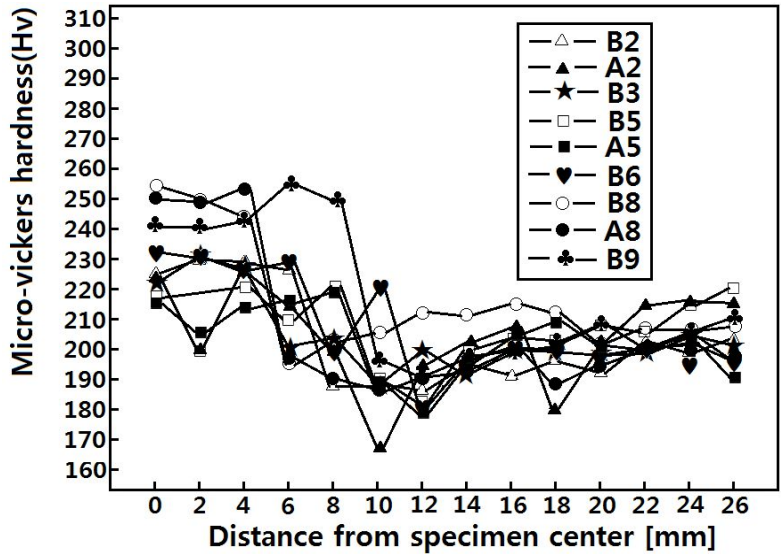


Fig. 4-14. Hardness distribution in welding according to gas amounts of welding shielding

### 3. 용접이음부 개선각도에 따른 경도시험

용접이음부 개선각도에 따른 경도시험은 각 경도시험편의 용접이음부 개선각도에 따라 Table 3-5과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-10은 용접 패스 수에 따라 용접한 용접부의 표면비드와 이면비드의 폭, 높이의 수치이다.

Table 4-10. Welding size in opening angles of welding specimens

| X-film NO. | SPEC. NO   | Top bead geometry |            | Back bead geometry |            |
|------------|------------|-------------------|------------|--------------------|------------|
|            |            | width[mm]         | height[mm] | width[mm]          | height[mm] |
| C-1        | C120451201 | 16.3              | 1.0        | 11.6               | 3.3        |
| A-2        | A125451201 | 20.0              | 1.0        | 11.3               | 3.5        |
| C-2        | C130451201 | 20.5              | 1.4        | 11.0               | 4.3        |
| C-3        | C120452201 | 20.6              | 2.2        | 12.7               | 3.3        |
| A-5        | A125452201 | 20.8              | 1.6        | 14.2               | 4.9        |
| C-4        | C130452201 | 23.8              | 2.4        | 13.7               | 3.9        |
| C-5        | C220451201 | 20.0              | 1.0        | 19.4               | 3.0        |
| A-8        | A225451201 | 18.6              | 1.4        | 12.4               | 3.6        |
| C-6        | C230451201 | 20.7              | 2.3        | 9.7                | 3.6        |

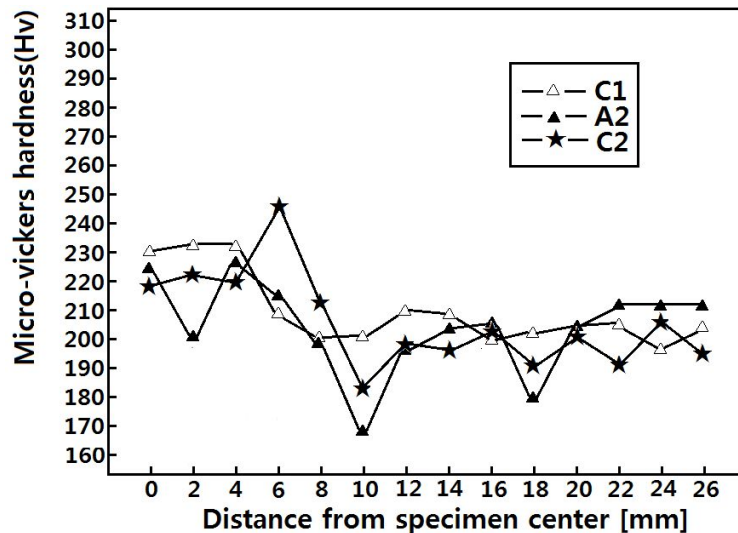


Fig. 4-15. Hardness distribution in welding according to opening angle of welding specimens in CO<sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding

Fig. 4-15는 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 비구속 상태의 맞대기 용접이음부 개선각도에 따른 경도시험에서 개선각도가 40°인 C1 시험편, 50°인 A2 시험편, 60°인 C2 시험편으로 표시하였다.

개선각도가 40°인 C1 시험편에서는 용착부 중심부에서 4mm까지 가장 높은 경도값을 나타냈으나, 본드부에서 열영향부는 점점 경도값이 하락되었다가 모재 쪽에서 약간 높아지다가 낮아지면서 일정하게 나타났다.

개선각도가 50°인 A2 시험편에서는 용착부 중심부에서 4mm까지 경도값의 높게 나타나 열영향부에서는 경도값이 심하게 하락되고, 모재 쪽에서는 불규칙적으로 변화되어 나타났다.

개선각도가 60°인 C2 시험편에서는 용착부 중심부에서 4mm까지 경도값의 일정하게 나타나다 6mm에서 경도값이 심하게 높게 나타나고, 열영향부는 경도값이 아주 많이 하락되다가 모재 쪽에서는 약간 높게 되고 변화의 폭이 일정하게 나타났다.

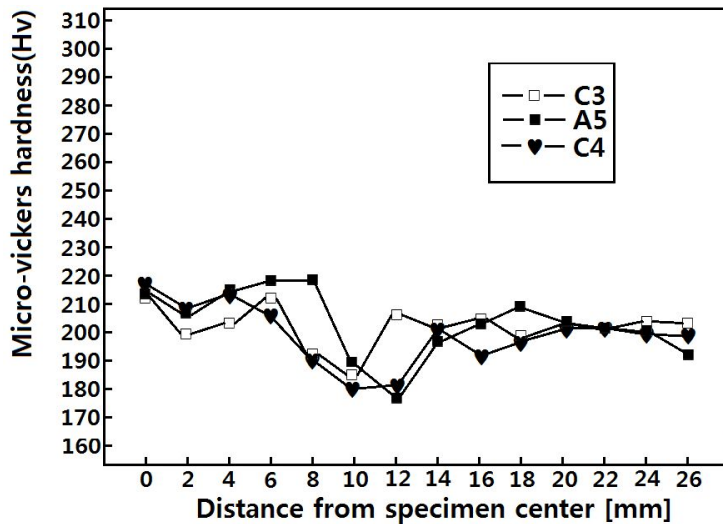


Fig. 4-16. Hardness distribution in welding according to opening angle of welding specimens in CO<sub>2</sub> 100% of shielding gas and restraint welding

Fig. 4-16은 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 구속 상태의 맞대기 용접이음부 개선각도에 따른 경도시험에서 개선각도가 40°인 C3 시험편, 50°인 A5 시험편, 60°인 C4 시험편으로 표시하였다.

개선각도가 40°인 C3 시험편에서는 경도값이 용착부 중심부에서 하락하다 6mm까지 상승되다가 열영향부에서는 심하게 하락하였고, 모재 쪽에서는 약간 증가하여 일정하게 나타났다.

개선각도가 50°인 A5 시험편에서는 경도값이 용착부 중심부에서 하락하다 8mm까지 상승되다가 열영향부에 심하게 하락하였고, 모재 쪽에서는 약간 증가하다가 일정하게

나타났다.

개선각도가 60°인 C4 시험편에서는 용착부 중심부에서 4mm까지 경도값이 하락하다 상승되다가 점점 낮아져 열영향부까지 심하게 낮아지다가 모재 쪽에서 증가하다 일정하게 낮아지는 것을 알 수 있다.

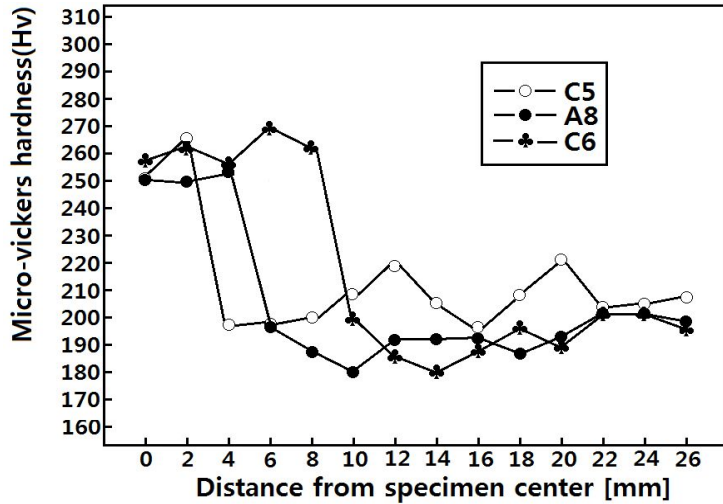


Fig. 4-17. Hardness distribution in welding according to opening angle of welding specimens in CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% of shielding gas and non-restraint welding

Figs. 4-17은 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스, 구속 상태에서 맞대기 용접이음부의 개선각도에 따른 경도시험에서 개선각도가 40°인 C5 시험편, 50°인 A8 시험편, 60°인 C6 시험편으로 표시하였다.

개선각도가 40°인 C5 시험편은 경도값이 용착부 중심부 2mm에서 경도가 높게 나타나고, 4mm 부근에서 심하게 하락하다 열영향부 10mm까지 상승되고, 모재 쪽에서는 변화의 폭이 심하게 나타났다. 개선각도가 50°인 A8 시험편에서는 경도값이 용착부 중심부에서 4mm까지 상승되다가 열영향부에 심하게 하락하였고, 모재 쪽에서는 약간 증가하다가 일정하게 나타났다. 개선각도가 60°인 C6 시험편은 용착부 중심부에서 8mm까지 경도값이 상승되다가 점점 낮아져 열영향부까지 심하게 낮아지다가 모재 쪽에서 증가하다 일정하게 낮아지는 것을 알 수 있다.



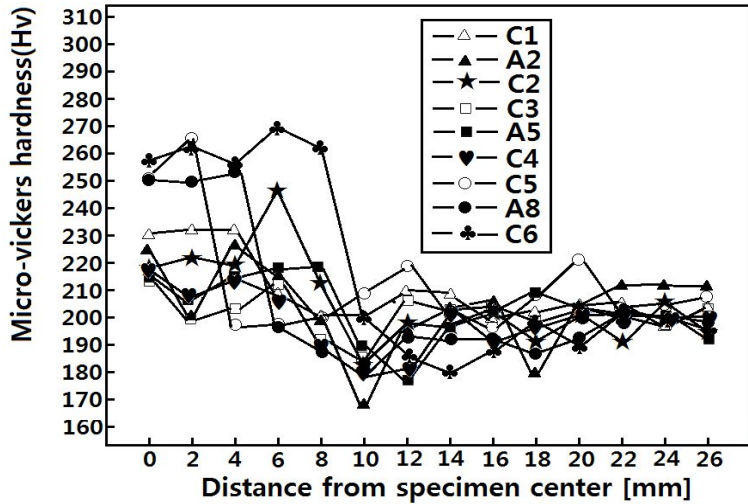


Fig. 4-18. Hardness distribution in welding according to opening angle of welding specimens

Figs. 4-18은 용접이음부의 개선각도를 40°, 50°, 60°에 따른 용접부의 경도시험에서 얻은 비커스 경도값을 전체적으로 나타낸 것이다. 일반 강의 용접부 경도분포는 모재와 용착부는 낮고, 열영향부는 높게 나타나는데 비하여, 용접이음부의 개선각도 변화에 따른 80 고장력강 용접부에 나타난 경도값에서도 거의 열영향부에서는 하락하고, 용착부에서 높게 나타났으며, 모재 끝 쪽으로 갈수록 약간 상승된 것을 알 수 있다.

또한, 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스, 비구속 맞대기 용접이음부의 경도값이 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100% 보다 약간 높게 나타났다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 비구속 맞대기 용접이음부에서의 개선각도가 40°와 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 구속 맞대기 용접이음부의 개선각도 50°와 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, 비구속 상태의 맞대기 용접이음부에서의 개선각도 50°가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, 비구속 상태의 맞대기 용접이음부에서의 개선각도 40°, 60°의 개선각도보다 경도값이 안정적으로 나타난 것을 알 수 있다.

#### 4. 용접이음부 루트간격에 따른 경도시험

용접이음부 루트간격에 따른 경도시험은 각 경도시험편의 용접이음부에 루트간격을 주어 Table 3-6와 같이 모재를 구속하지 않은 비구속용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-11은 용접 패스 수에 따라 용접한 용접부의 표면비드와 이면비드의 폭과 높이 수치이다.

Table 4-11. Welding size in root gap of welding joints

| X-film NO. | SPEC. NO   | Top bead geometry |            | Back bead geometry |            |
|------------|------------|-------------------|------------|--------------------|------------|
|            |            | width[mm]         | height[mm] | width[mm]          | height[mm] |
| D1         | D125432201 | 18.0              | 2.2        | 11.9               | 3.5        |
| A5         | A125452201 | 20.8              | 1.6        | 14.2               | 4.9        |
| D3         | D225431201 | 18.0              | 1.6        | 6.9                | 3.4        |
| A8         | A225451201 | 18.6              | 1.4        | 12.4               | 3.6        |

Fig. 4-19는 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 구속 맞대기 용접이음부의 루트간격에 따른 경도 시험에서 루트간격이 3mm인 D1 시험편, 5mm인 A5 시험편으로 표시하였다.

루트간격이 3mm인 D1 시험편은 용착부 중심부에서 4mm까지 가장 높은 경도값을 나타냈으나 본드부 근방에서는 점점 경도값이 하락되었다가 열영향부에서 경도가 다시 높아지다가 모재 쪽에서 약간 변화되면서 높아지는 것을 알 수 있다.

루트간격이 5mm인 A5 시험편에서는 용착부 중심부에서 8mm까지 경도값의 변화폭이 약간 나타나면서 본드부 근방에서부터 열영향부까지 심하게 하락되다 모재쪽에서는 안정되면서 점점 하락하는 것을 알 수 있다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, 비구속 맞대기 용접이음부의 루트간격에 따른 경도 시험에서 루트간격이 3mm인 D3 시험편, 5mm인 A8 시험편으로 표시하였다.

루트간격이 3mm인 D3 시험편은 용착부 중심부에서 4mm까지 경도값이 상승하면서 가장 크게 나타났다가 4mm에서부터 열영향부 근방에서 경도값이 심하게 하락되다가 모재 쪽에는 변화의 폭이 일정하게 나타났다.

루트간격이 5mm인 A8 시험편에서는 용착부 중심부에서 4mm에서 경도값이 가장 크게 나타났으나, 6mm에서 크게 하락하면서 본드부에서부터 열영향부 근방까지 계속 경도값이 하락되다가 모재 쪽에서 일정하게 유지되었다가 끝부분에서만 약간 상승되게 나타났다.

루트간격이 3mm와 5mm를 비교할 때 5mm의 용접시험편이 3mm의 용접시험편보다 더 안정적으로 경도값이 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 용착량이 적어 용접열영향이 적었기 때문이다.

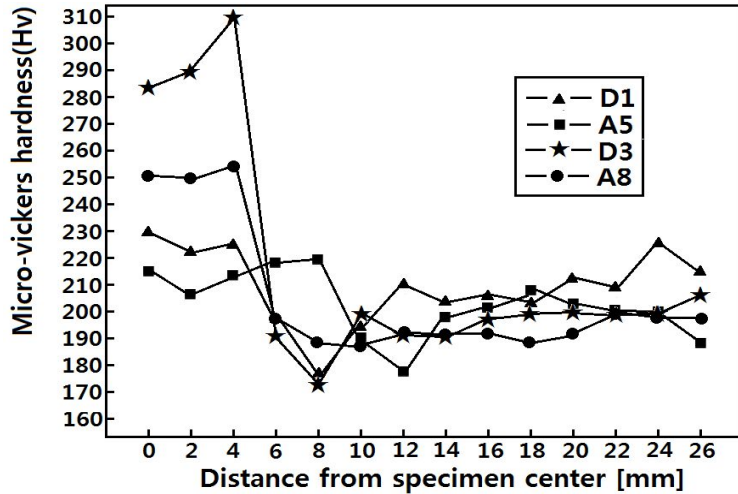


Fig. 4-19. Hardness distribution in welding according to opening angle of welding specimens in CO<sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding

### 5. 용접부의 혼합가스 비율에 따른 경도시험

용접부의 혼합가스 비율에 따른 경도시험은 각 시험편에 CO<sub>2</sub> 10% + Ar 90%, CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%의 혼합가스 비율의 종류에 따라 보호가스로 사용하여 Table 3-7과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접 방법으로 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-12는 용접 패스 수에 따라 용접한 용접부의 표면비드와 이면비드의 폭과 높이의 수치이다.

Table 4-12. Welding size in mixing gas ratio of welding joints

| X-film NO. | SPEC. NO   | Top bead geometry |            | Back bead geometry |            |
|------------|------------|-------------------|------------|--------------------|------------|
|            |            | width[mm]         | height[mm] | width[mm]          | height[mm] |
| E-1        | E125451201 | 17.4              | 1.5        | 11.2               | 3.0        |
| A-8        | A225451201 | 18.6              | 1.4        | 12.4               | 3.6        |
| E-3        | E325451201 | 18.3              | 1.6        | 10.3               | 3.5        |

Fig. 4-20은 보호가스를 CO<sub>2</sub>와 Ar의 혼합가스 비율과 비구속 상태에서 맞대기 용접부에 있어서 혼합가스 비율에 따른 경도시험에서 혼합가스 CO<sub>2</sub> 10% + Ar 80%를 E-1, 혼합가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%를 A-8, 혼합가스 CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%를 E-3로 표시하였다.

혼합가스 CO<sub>2</sub> 10% + Ar 90%를 E-1에서는 용착부 4mm에서 가장 높은 경도값을 나타냈고, 6mm에서는 조금 하락하다가 본드부 근방에서부터 열영향부까지 심하게 하락된 것을 알 수 있으며, 모재 쪽으로 가면서 높아지고 약간 경도값이 변화된 것을 알 수 있다.

혼합가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%를 A-8에서는 용착부 중심부에서 4mm에서 경도값이 가장 크게 나타났다가 6mm에 크게 하락하였다가 본드부에서부터 열영향부 근방에서 경도값이 심하게 하락되다 모재 쪽에서부터 일정하게 유지되다 끝부분에서는 약간 상승되게 나타났다.

혼합가스 CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%인 E3 시험편에서는 용착부 중심부에서 6mm까지 높은 경도값이 유지되다가 열영향부 근방에서 경도값이 급격하게 하락되다, 모재 쪽에서부터는 상승하여 일정하게 유지되다 끝부분에서는 약간 상승되게 나타났다.

혼합가스 CO<sub>2</sub> 10% + Ar 90%인 E1 시험편에서 다른 혼합가스 비율보다 가장 높은 경도값을 나타냈는데, 이것은 다른 비율보다 탈산효과가 적기 때문이라 사료된다.

혼합가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%가 다른 비율보다 경도값이 안정되게 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 용접할 때 Ar과 CO<sub>2</sub>가 안정적으로 작업효과가 나타나기 때문이다. 방사선시험 결과에서도 다른 비율은 결함이 많은데 비하여 혼합가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%는 결함 없이 나타났기 때문에 ATOS 80 고장력강 Flux-cored arc welding에서 보호가스로 사용하는 혼합가스 중에서는 다른 비율보다 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%가 좋은 것으로 사료된다.

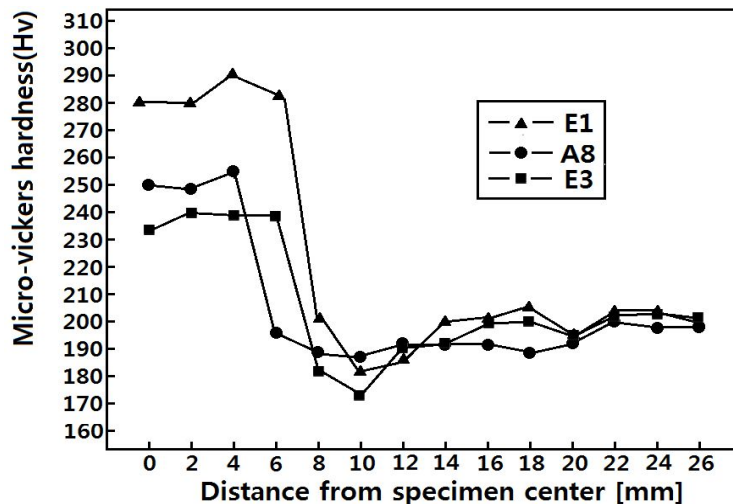


Fig. 4-20. Hardness distribution in welding according to gas ratio of welding joints

## 6. 용접이음부의 예열 유무에 따른 경도시험

용접이음부의 예열 유무에 따른 경도시험은 각 시험편에 160℃ 예열의 유무에 따라 Table 3-8과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접으로 실시하여 용접을 진행하였다. Table. 4-13은 용접 패스 수에 따라 용접한 용접부의 표면비드와 이면비드의 폭과 높이의 수치이다.

Table 4-13. Size of welding by welding joints preheating and non-preheating

| X-film NO. | SPEC. NO   | Top bead geometry |            | Back bead geometry |            |
|------------|------------|-------------------|------------|--------------------|------------|
|            |            | width[mm]         | height[mm] | width[mm]          | height[mm] |
| F1         | E125451201 | 17.4              | 1.5        | 11.2               | 3.0        |
| A2         | A125451201 | 20.0              | 1.0        | 11.3               | 3.5        |
| F2         | F125431202 | 11.6              | 1.9        | 7.6                | 3.1        |
| F4         | F120451202 | 11.5              | 1.0        | 11.5               | 3.6        |
| C1         | C120451201 | 16.3              | 1.0        | 11.6               | 3.3        |
| F5         | F225451202 | 19.4              | 1.0        | 11.85              | 4.0        |
| A8         | A225451201 | 18.6              | 1.4        | 12.4               | 3.6        |

Fig. 4-21은 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%, 비구속 맞대기 용접이음부의 예열 유무에 따른 경도시험에서 용접이음부에 비예열은 F1 시험편, 예열은 A2 시험편으로 표시하였다.

용접이음부에 비예열한 F1 시험편은 용착부 중심에서 4mm까지 경도값이 하락하다가 6mm에서 높아지다가 가장 높은 경도값을 나타냈으나 본드부에서 열영향부까지 점점 경도값이 하락되었다가 모재 쪽으로 다시 높아지다가 약간 낮아지는 것을 알 수 있다.

용접이음부에 예열한 A2 시험편에서는 용착부 중심부에서 4mm까지 경도값의 변화 폭이 심하게 나타나다, 열영향부에서는 경도값이 급격하게 하락되다 모재쪽에서도 변화의 폭이 심하게 나타났다.

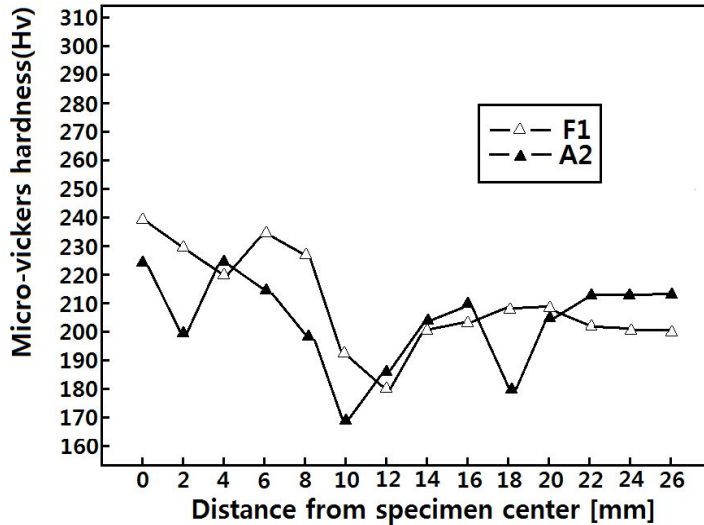


Fig. 4-21. Hardness distribution in welding according to preheating of welding joints in CO<sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding

Fig. 4-22는 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 비구속 맞대기 용접이음부의 예열 유무 관계와 루트 간격에 따른 경도시험에서 용접이음부에 예열하지 않고, 루트 간격이 3mm인 F2 시험편에서는 경도값이 용착부 중심부에서 4mm까지 변화하다가 본드부에서 열영향부까지 급격하게 하락하였고, 모재 쪽에서는 약간 증가하게 나타났고, 용접이음부에 160℃로 예열하고, 루트 간격이 5mm인 A2에서는 용착부 중심부에서 4mm까지 경도값의 변화폭이 심하게 나타나다 열영향부에서는 경도값이 급격하게 하락하고, 모재 쪽에서는 변화의 폭이 심하게 나타났다.

F2 시험편이 A2 시험편보다 경도가 높게 나타난 것은 루트간격이 작은 관계로 용착량이 적어 용착금속의 냉각효과가 컸기 때문이라 사료된다.

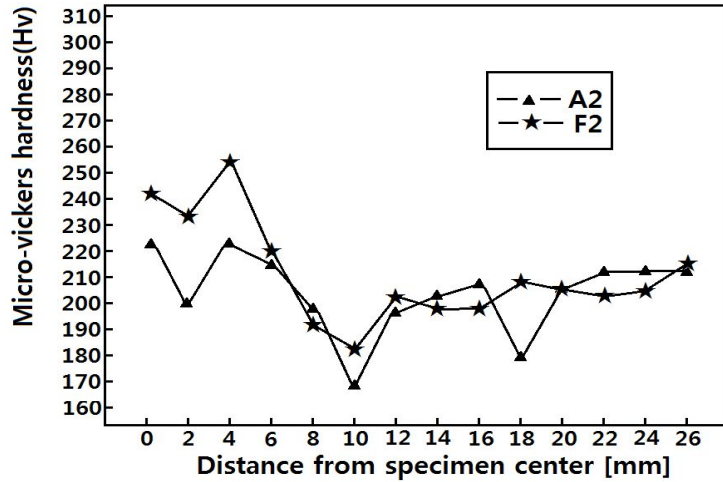


Fig. 4-22. Hardness distribution in welding according to preheating and non-preheating of welding joints in CO<sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding root gap of by welding joints

Fig. 4-23은 보호가스가 CO<sub>2</sub> 100%, 개선각도 40°, 비구속 맞대기 용접이음부의 예열 유무에 따른 경도시험에서 예열하지 않은 것은 F4 시험편, 예열한 것은 C1 시험편으로 표시하였다.

용접이음부에 예열하지 않은 F4 시험편에서는 경도값이 용착부 중심에서 열영향부까지 계속 하락하다가 모재쪽으로 상승하여 일정하게 유지되다가 모재 끝 부분에서는 약간 상승된 것을 볼 수 있다.

용접이음부에 예열한 C1 시험편에서는 용착부 중심부에서 4mm까지 가장 높은 경도값을 나타냈으나, 본드부에서 열영향부는 점점 경도값이 하락되었다가 모재 쪽에서 약간 높아지다가 낮아지면서 일정하게 나타났다.

동일한 용접조건에서 예열하지 않은 F4 용접시험편보다 예열한 C1 용접시험편의 경도가 높은 것으로 나타났는데, 그것은 예열하여 고유한 고장력강의 기계적 성질이 유지되었기 때문이라 사료된다.

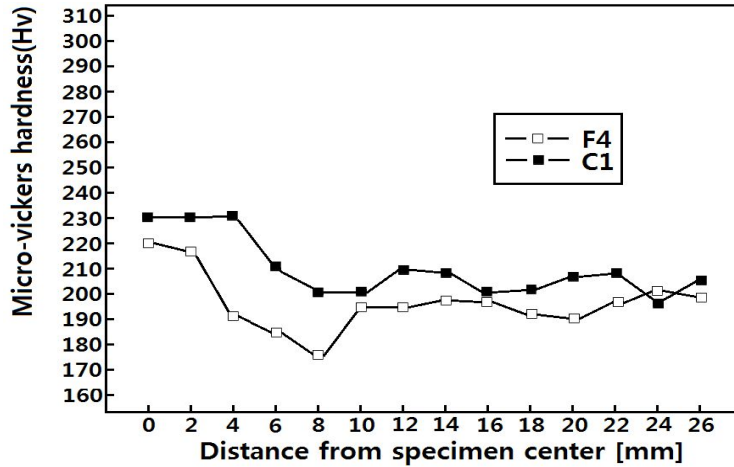


Fig. 4-23. Hardness distribution in welding according to preheating and non-preheating of welding joints in CO<sub>2</sub> 100% of shielding gas and non-restraint welding by opening angle of 40° in welding specimens

Figs. 4-24는 보호가스는 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스, 개선탄도는 50°, 비구속 상태에서 맞대기 용접이음부의 예열 유무에 따른 경도시험에서 비예열한 F5 시험편, 예열한 A8 시험편으로 표시하였다.

용접이음부에 예열하지 않은 F5 시험편에서는 경도값이 용착부 중심에서 열영향부까지 계속 하락하다가 모재쪽으로 상승하여 일정하게 유지되다가 모재 끝 부분에서는 약간 상승된 것을 볼 수 있으며, 예열한 A8 시험편에서는 용착부 중심부에서 4mm까지 가장 높은 경도값을 나타냈으나 본드부에서 열영향부는 점점 경도값이 하락되었다가 모재 쪽에서 약간 높았으나 일정하게 나타났다.

동일한 용접조건에서 예열하지 않은 F5 용접시험편이 예열한 A8 용접시험편보다 경도가 높게 나타났는데, 그것은 예열하여 고유한 고장력강의 기계적 성질이 유지되었기 때문이라 사료된다.



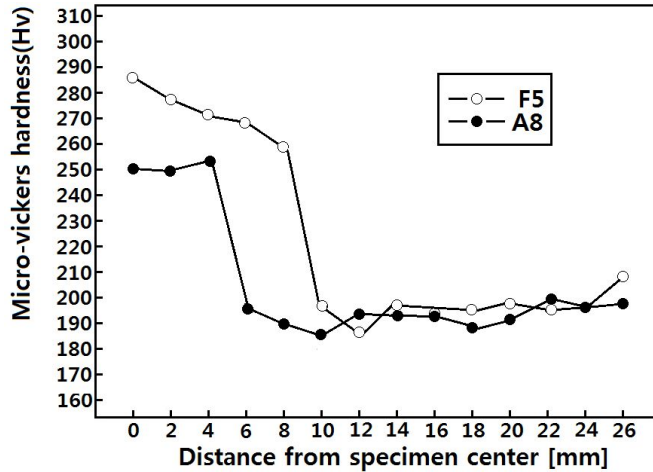


Fig. 4-24. Hardness distribution in welding according to preheating and non-preheating of welding joints in CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% of shielding gas and non-restraint welding by welding specimens opening angle of 50°

Fig. 4-25는 용접이음부에 용접하기 전에 160℃ 정도 예열한 시험편과 예열하지 않은 상태에서 용접하여 측정한 경도값을 전체적으로 나타낸 것이다. 일반 강에서의 용접부 경도분포는 용착부와 모재보다 약간 낮으나 열영향부에서는 굉장히 높는데 비하여, 예열 상태의 아토스80 고장력강 용접부에 나타난 경도값은 거의 열영향부에서는 하락하고, 반대로 용착부에서 높게 나타났으며, 모재 끝 쪽으로 갈수록 약간 상승되는 것을 알 수 있다.

또한 용접부의 예열에 관계없이 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스를 사용한 용접부의 경도값은 CO<sub>2</sub> 100%를 사용한 용접부보다 높게 나타난 것을 알 수 있다.

대체적으로 예열한 용접부가 예열하지 않은 용접부보다 경도값이 낮지만, 이것은 예열함으로써 고유의 고장력강 기계적 성질을 그대로 있으므로 보다 안정적인 조직 상태를 가지고 있기 때문이라 사료된다.

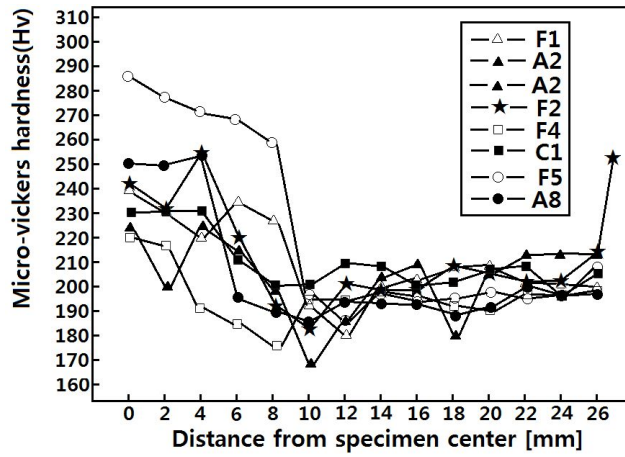


Fig. 4-25. Hardness distribution in welding according to preheating and non-preheating of welding specimens

### 제3절 용접부의 충격치 특성

본 실험에서는 용량 50kgf·m의 샤르피 충격시험기를 사용하여 용접에 조건에 따른 충격시험을 실시하였다. 먼저 시험편의 파단에 요하는 흡수 에너지를 구하기 이전에 시험기의 에너지 손실을 식 (4-1)에 의하여 구하였다.

$$U_0 = WR(\cos \beta_0 - \cos \alpha) \dots \dots \dots (4-1)$$

시험편의 흡수 에너지는 식 (4-2)에 의하여 구하였다.

$$U = WR(\cos \beta - \cos \alpha) - U_0 \dots \dots \dots (4-2)$$

본 실험에서는 ATOS 80 고장력강의 용접조건에 따른 경도치 기계적 성질을 평가하기 위하여 Table 4-1과 같이 정의하여 각각 용접시험편을 분류하였다.

취성시험용 용접 시험편은 맞대기 용접한 것으로 한국산업표준 KS규격 KS B 0809 (금속재료충격시험편) u노치 시험편에 의하여 가공하였으며, 시험편 제작은 용접부에 가공 열영향을 주지 않기 위하여 제일 먼저 레이저가공으로 직사각형으로 절단하고 전체 면은 밀링으로 가공한 뒤, 인장부분은 머시닝센터로 가공하였다. 최종적으로 시험편 규격에 맞도록 연삭기로 가공하였다.

50) KS B 0809(금속재료충격시험편) 한국표준협회 2001. 5. 11 pp2

충격시험은 시험편의 용접선 가로 방향으로 Weld Metal Zone을 샤르피 충격시험기로 측정하였고, 그 실험 결과는 Table 4-14에 나타내었다. 충격측정용 시험편의 표면을 연마한 후 하중 500g, 하중작용시간 30초 동안 작용시켜 2mm 간격으로 측정하고 최대값과 최소값을 제외한 측정결과로 얻었다.

충격시험기(UH-F50A)의 용량은 50ton이며, 금속재료의 항복강도, 인장강도, 연신율 등을 측정한 결과 모든 시험편에서의 파단은 용착부와 bond부에서 발생하였다.

Table 4-14는 본 실험에 의하여 구해진 각 시험편들의 흡수 에너지 값을 나타내고 있다.

Table 4-14. Charpy impact test result value of ATOS 80 high tensile steel  
weldment

| X-film NO. | Pendulum angle [°] | Max angle [°] | Impurse [kgf · mm] | Cross section [cm <sup>2</sup> ] | Strength [kgf · mm/cm <sup>2</sup> ] |
|------------|--------------------|---------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| A2         | 140.1900           | 80.1076       | 26742.0800         | 0.80                             | 33.428                               |
| A3         | 140.1900           | 78.8334       | 27469.8600         | 0.80                             | 34.337                               |
| A5         | 140.1900           | 93.9946       | 19911.0250         | 0.80                             | 24.888                               |
| A6         | 140.1900           | 110.3862      | 11911.0600         | 0.80                             | 14.889                               |
| A8         | 140.1900           | 102.7397      | 15579.8300         | 0.80                             | 19.474                               |
| A9         | 140.1900           | 106.6745      | 13927.2850         | 0.80                             | 17.396                               |
| B2         | 140.1900           | 77.9885       | 27870.2900         | 0.80                             | 34.838                               |
| B3         | 140.1900           | 86.2163       | 23803.2500         | 0.80                             | 29.754                               |
| B5         | 140.1900           | 93.5551       | 20130.2950         | 0.80                             | 25.166                               |
| B6         | 140.1900           | 100.1030      | 16911.5250         | 0.80                             | 21.139                               |
| B8         | 140.1900           | 108.7163      | 12796.3615         | 0.80                             | 15.995                               |
| B9         | 140.1900           | 116.0991      | 9296.5380          | 0.80                             | 11.620                               |
| C1         | 140.1900           | 89.4243       | 22198.8050         | 0.80                             | 27.748                               |
| C2         | 140.1900           | 92.2368       | 20790.6000         | 0.80                             | 25.988                               |
| C3         | 140.1900           | 88.8090       | 22505.9900         | 0.80                             | 28.132                               |
| C4         | 140.1900           | 44.1704       | 19822.8350         | 0.80                             | 24.778                               |
| C5         | 140.1900           | 97.5542       | 18134.9200         | 0.80                             | 22.670                               |
| C6         | 140.1900           | 101.7289      | 16079.5150         | 0.80                             | 20.099                               |
| D1         | 140.1900           | 81.5580       | 26124.8000         | 0.80                             | 32.656                               |
| D3         | 140.1900           | 90.1274       | 21846.5350         | 0.80                             | 27.308                               |
| D5         | 140.1900           | 90.7426       | 21538.3100         | 0.80                             | 26.922                               |
| E1         | 140.1900           | 103.4429      | 15285.5650         | 0.80                             | 19.107                               |
| E3         | 140.1900           | 92.1049       | 20855.9400         | 0.80                             | 26.069                               |
| F1         | 140.1900           | 89.4682       | 22176.7900         | 0.80                             | 27.721                               |
| F2         | 140.1900           | 72.3296       | 30563.4650         | 0.80                             | 38.204                               |
| F4         | 140.1900           | 84.4145       | 24696.3900         | 0.80                             | 30.870                               |
| F5         | 140.1900           | 101.0698      | 16398.4400         | 0.80                             | 20.498                               |

## 1. 용접이음의 패스 수에 따른 충격시험

용접이음의 패스 수에 따른 충격시험은 각 충격시험편 용접이음부의 패스 수에 따라 Table 3-4와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.

Fig. 4-26에서 보면 패스 수에 따른 용접조건에서는 4패스한 용접시험편의 흡수에너지가 높아 5패스로 용접한 시험편보다 보호가스 종류와 구속 상태와 관계없이 충격치가 높게 나타난 것을 알 수 있다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 비구속용접으로 한 충격시험편이 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스로 구속 용접한 충격시험편보다 높게 측정되었는데, 이것은 비구속 용접할 때 자유로운 변형으로 연신율을 잃지 않았기 때문이며, 비드 상태가 좋은 혼합가스보다는 순 탄산가스(CO<sub>2</sub> 100%)가 탈산효과가 더 좋아 인성이 풍부하기 때문이라 사료된다.

또한, 4패스로 용접한 시험편이 5패스로 용접한 시험편보다 충격치가 높게 나타났으며, 5패스로 용접한 시험편의 충격치가 낮은 것은 용접부에 용접열을 더 많이 주므로 탄소당량이 높은 고장력강의 조직이 미세화 되므로 메짐성이 증가되므로 충격하중에 견디지 못한 것으로 사료된다.

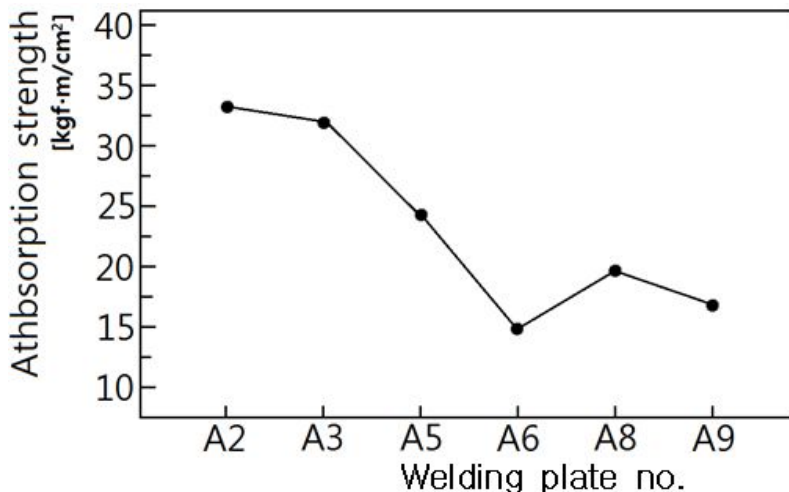


Fig. 4-26. Results of impact test according to number of welding pass

## 2. 용접부 실딩가스의 양에 따른 충격시험

용접부 실딩가스의 양에 따른 충격시험은 각 충격시험편의 용접부 실딩가스 양에 따라 Table 3-5와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물작업과 같

이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.

Fig. 4-27에서 보면 보호가스량에 따른 용접조건에서 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 용접 시험편, 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접 시험편, 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스, 비구속용접 시험편에 대한 각 시험편의 보호가스량 15ℓ, 20ℓ, 25ℓ 충격치를 나타낸 것이다. 이 중 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 보호가스량 15ℓ로 비구속용접 시험편이 흡수에너지가 가장 높게 나타났다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속용접의 보호가스량이 15ℓ인 B2 용접시험편이 충격강도가 가장 높게 측정되었고, 그 다음 20ℓ인 A2 용접시험편, 25ℓ인 B6 용접시험편 순으로 측정되었다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속 상태에서의 용접부는 보호가스량이 20ℓ인 A5 용접시험편이 충격강도가 가장 높게 측정되었고, 그 다음 15ℓ인 B5 용접시험편, 25ℓ인 B3 용접시험편 순으로 측정되었다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스, 비구속 맞대기 용접부 보호가스량이 20ℓ인 A8 용접시험편이 충격강도가 가장 높게 측정되었고, 그 다음 15ℓ인 B8 용접시험편, 25ℓ인 B9 용접시험편 순으로 측정되었다.

전체적으로 살펴 볼 때 보호가스량 15ℓ, 20ℓ, 25ℓ 중 20ℓ이 가장 높은 충격치를 나타냈기 때문에 20ℓ이 가장 적당하다 사료되며, 이것은 25ℓ일 때는 많은 가스량 공급으로 난류현상이 생겨서 용접부에 제대로 보호하지 못하므로 취약하여 충격치가 저하되고, 15ℓ일 때는 일반 비구속 용접에서는 충분하지만 구속용접이나 혼합가스로 보호할 때는 적당하지 않다고 사료된다.

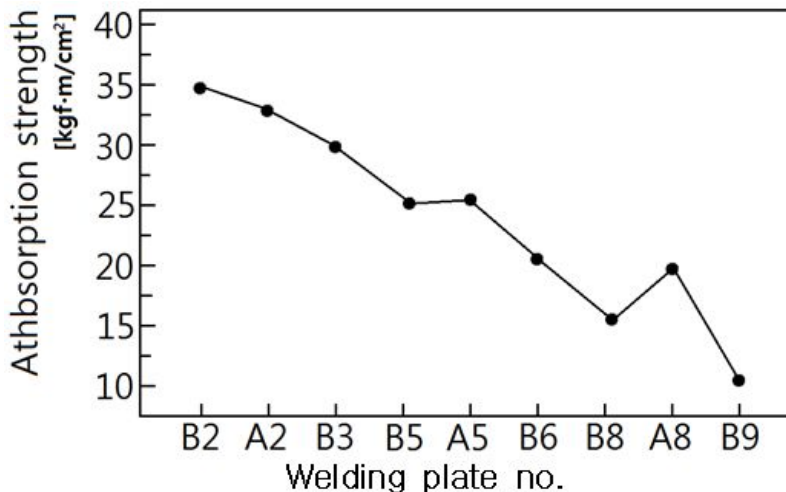


Fig. 4-27. Results of impact test according to amounts of shielding gas

### 3. 용접이음부 개선각도에 따른 충격시험

용접이음부 개선각도에 따른 충격시험은 각 충격시험편의 용접이음부 개선각도에 따라 Table 3-6과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.

Fig. 4-28에서 보면 용접부 보호가스량에 따른 용접조건에서 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속용접 상태일 때, 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속 상태일 때, 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스에 비구속용접 상태일 때의 충격치를 나타낸 것이다. 이 중 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 상태의 용접이음부 개선각도가 50°일 때 흡수에너지가 가장 높게 나타났다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속용접 상태에서는 보호가스량이 20ℓ인 A2 용접시험편이 충격강도가 가장 높게 측정되었고, 그 다음 15ℓ인 B2 용접시험, 25ℓ인 B6 용접시험편 순으로 측정되었다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 구속 상태에서의 용접이음부 개선각도가 40°인 C3 용접시험편이 충격강도가 가장 높게 측정되었고, 그 다음 50°인 A5 용접시험, 60°인 C4 용접시험편 순으로 측정되었다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스, 비구속 상태의 맞대기 용접이음부 개선각도가 40°인 C5 용접시험편이 충격강도가 가장 높게 측정되었고, 그 다음 50°인 A8 용접시험, 60°인 C6 용접시험편 순으로 측정되었다.

전체적으로 살펴 볼 때 충격치가 가장 높게 측정된 것은 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 상태인 용접부이고, 다음은 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속 상태이고, 그 다음은 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스에 비구속 상태의 맞대기 용접부이다. 이것은 순탄산가스의 탈산효과가 크고, 비구속용접에 구속의 자유로움에 의한 내부응력 감소로 인하여 인성이 증가되었기 때문이라고 사료된다.

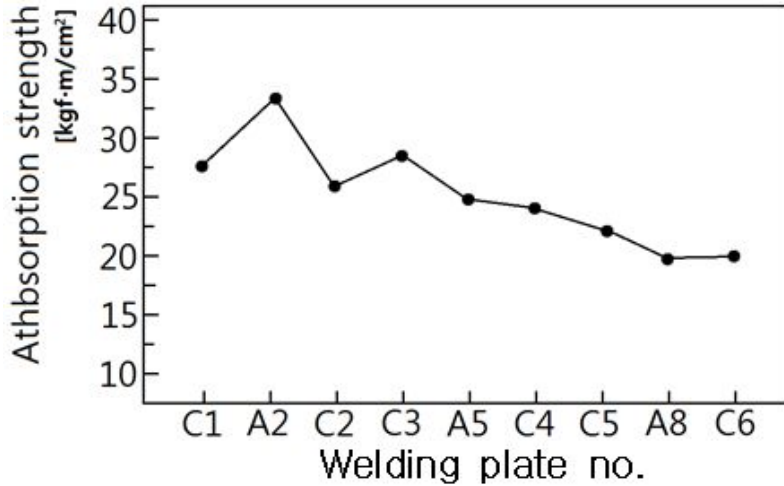


Fig. 4-28. Results of impact test according to opening angle of welding specimens

#### 4. 용접이음부 루트간격에 따른 충격시험

용접이음부 루트간격에 따른 충격시험은 각 충격시험편의 용접이음부 루트간격에 따라 3mm, 5mm로 분류하여 Table 3-7과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.

Fig. 4-29에서 보면 용접이음부의 루트 간격에 따른 용접조건에서 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속 상태일 때, 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스에 비구속 상태일 때의 충격치를 나타낸 것이다. 이 중 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속 상태의 루트 간격 3mm일 때 흡수에너지가 가장 높게 나타났다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 루트 간격 3mm일 때 흡수에너지가 루트 간격 5mm일 때 보다 높게 나타났다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스에 비구속용접에서도 루트 간격 3mm일 때 흡수에너지가 루트 간격 5mm일 때 보다 높게 나타났다.

전체적으로 살펴 볼 때 용접이음부의 충격치가 루트 간격 3mm일 때의 흡수에너지가 루트 간격 5mm일 때 보다 높게 나타났다. 이것은 루트간격이 작은 3mm는 5mm에 보다 용착량이 적어 용접 모재에 보다 적게 가해지는 용접열량이 적기 때문에 그 만큼 열에 의한 금속조직 변화가 적었기 때문이라 사료되나 일부 용접결함이 발생하기도 하였다.



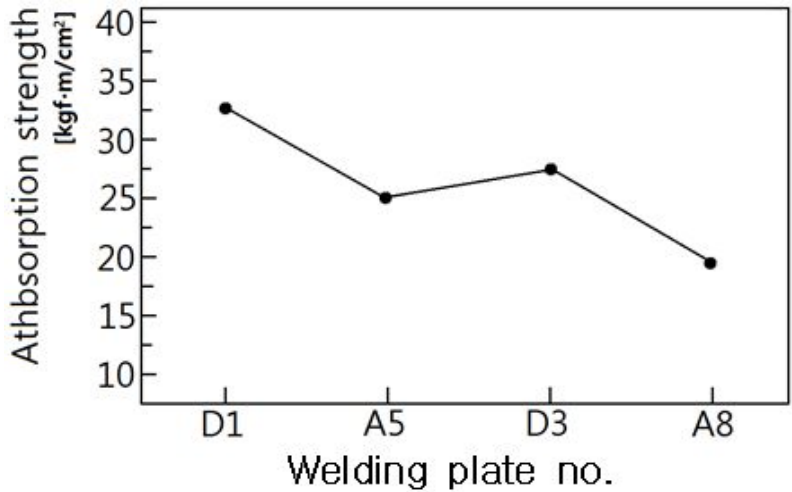


Fig. 4-29. Results of impact test according to root gap of welding joints

### 5. 용접부의 혼합가스 비율에 따른 충격시험

용접부의 혼합가스 비율에 따른 충격시험은 각 시험편에 CO<sub>2</sub> 10% + Ar 90%, CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%, CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%의 혼합가스 비율에 따라 보호가스로 사용하여 Table 3-8과 같이 구속하지 않는 상태의 비구속용접 방법으로 실시하여 용접을 진행하였다.

Fig. 4-30에서 보면 용접이음부의 혼합가스 비율에 따른 용접조건에서 CO<sub>2</sub> 10% + Ar 90%의 혼합가스 비율에 비구속용접일 때, CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스에 비구속용접일 때, CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%의 혼합가스에 비구속용접일 때의 충격치를 나타낸 것이다. 이 중 CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%의 혼합가스에 비구속용접일 때의 흡수에너지가 가장 높게 나타났다.

이것은 세 가지 조건 중 탄산가스 함유량이 가장 많기 때문에 탈산효과가 커서 인성이 크므로 충격치가 높게 나타났으리라 사료된다.

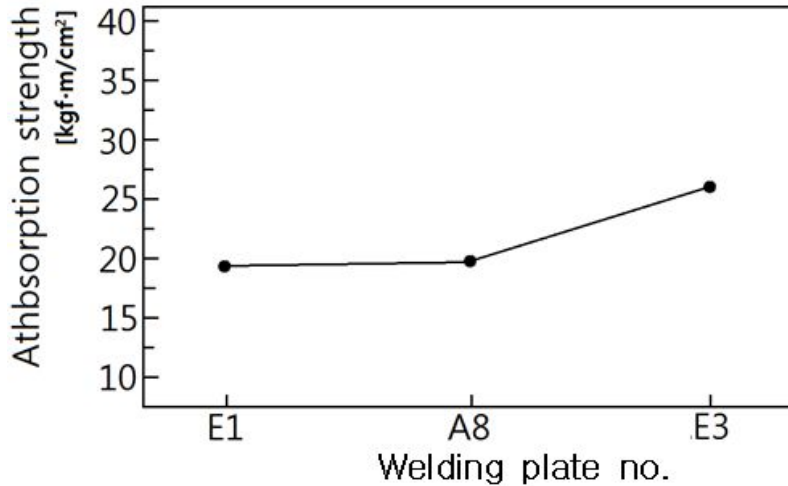


Fig. 4-30. Results of impact test according to a mixing gas ratio of welding joints

## 6. 용접이음부의 예열 유무에 따른 충격시험

용접이음부의 예열 유무에 따른 충격시험은 각 시험편에 160℃ 예열의 유무에 따라 Table 3-9와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접 방법으로 실시하여 용접을 진행하였다.

Fig. 4-31에서 보면 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 5mm로 개선각 50°의 용접부에 예열을 주지 않은 F1 용접시험편, 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 5mm로 개선각 50°의 용접부에 160℃ 정도 예열한 A2 용접시험편, 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 3mm로 개선각 50°의 용접부에 예열하지 않은 F2 용접시험편, 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 5mm로 개선각 40°의 용접부에 예열하지 않은 F4 용접시험편, 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 5mm로 개선각 40°의 용접부에 160℃ 정도 예열한 C1 용접시험편, 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar80%의 혼합가스에 루트 간격 5mm로 개선각 50°의 용접부에 예열하지 않은 F5 용접시험편, 보호가스 CO<sub>2</sub> 2% + Ar 80%의 혼합가스에 루트 간격 5mm로 개선각 50°의 용접부에 160℃ 정도 예열한 A8 용접시험편을 충격시험에서 얻은 흡수에너지를 나타낸 것이다.

이 중 전체에서 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 3mm로 개선각 50°의 용접부에 예열하지 않은 F2 용접시험편이 가장 큰 흡수에너지를 나타냈다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 5mm로 개선각 50° 용접부시험편의 충격시험에서는 예열을 주지 않은 F1 용접시험편보다 예열한 A2 용접시험편의 흡수에너지가 크게 나타났다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 3mm와 5mm, 개선각 50°의 용접부시험편 충격시험에서 160°로 예열하였고, 루트간격이 5mm인 A2 용접시험편보다 예열하지 않고 루트 간격 3mm인 F2 용접시험편의 흡수에너지가 크게 나타났다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 5mm로 개선각 40°의 용접부시험편 충격시험에서 160°로 예열한 C1 용접시험편보다 예열을 주지 않은 F4 용접시험편의 흡수에너지가 크게 나타났다.

보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 혼합가스에 루트 간격 5mm로 개선각 50°의 용접부 시험편 충격시험에서 160°로 예열한 A8 용접시험편보다 예열을 주지 않은 F5 용접 시험편의 흡수에너지가 크게 나타났다.

전체적으로 볼 때 같은 용접조건에서 예열하지 않은 용접시험편의 충격시험이 예열한 용접시험편보다 흡수에너지가 크게 나타났는데, 이것은 조대화로 된 조직에 의한 연성이 증가되었기 때문이라고 사료된다.

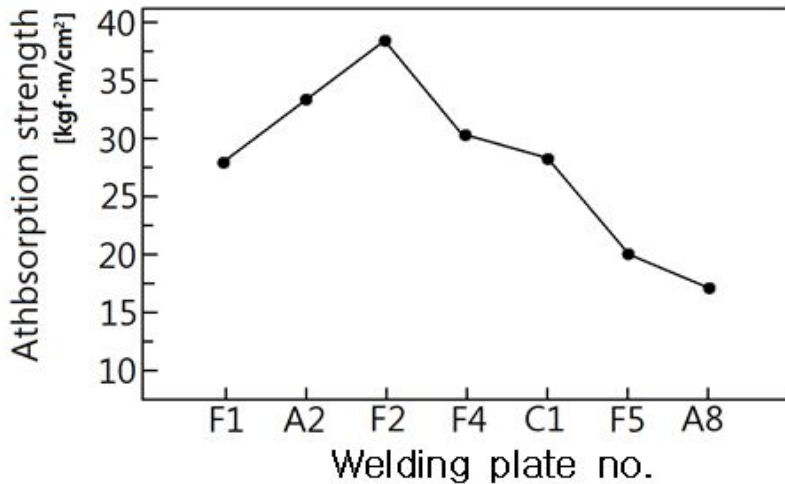


Fig. 4-31. Results of impact test according to preheating and non-preheating of welding specimens

## 제4절 용접부 단면의 메크로 조직 특성

자동차, 중장비, 농업기계, 조선 등 철구조물을 용접에 의해서 접합할 때, 강철판은 국부적으로 용융점 이상 급격히 가열되어야 하고, 그 후 접합부의 모양에 따라 제한된 조건아래에서 다시 빠르게 냉각되어 응고되어야 한다. 이렇게 높은 열 사이클로 인하여 용접부 근처에서 강철재료는 원래의 미세구조와 달리 성질이 변하는 구역을 보통 Heat Affected Zone 이라고 한다.

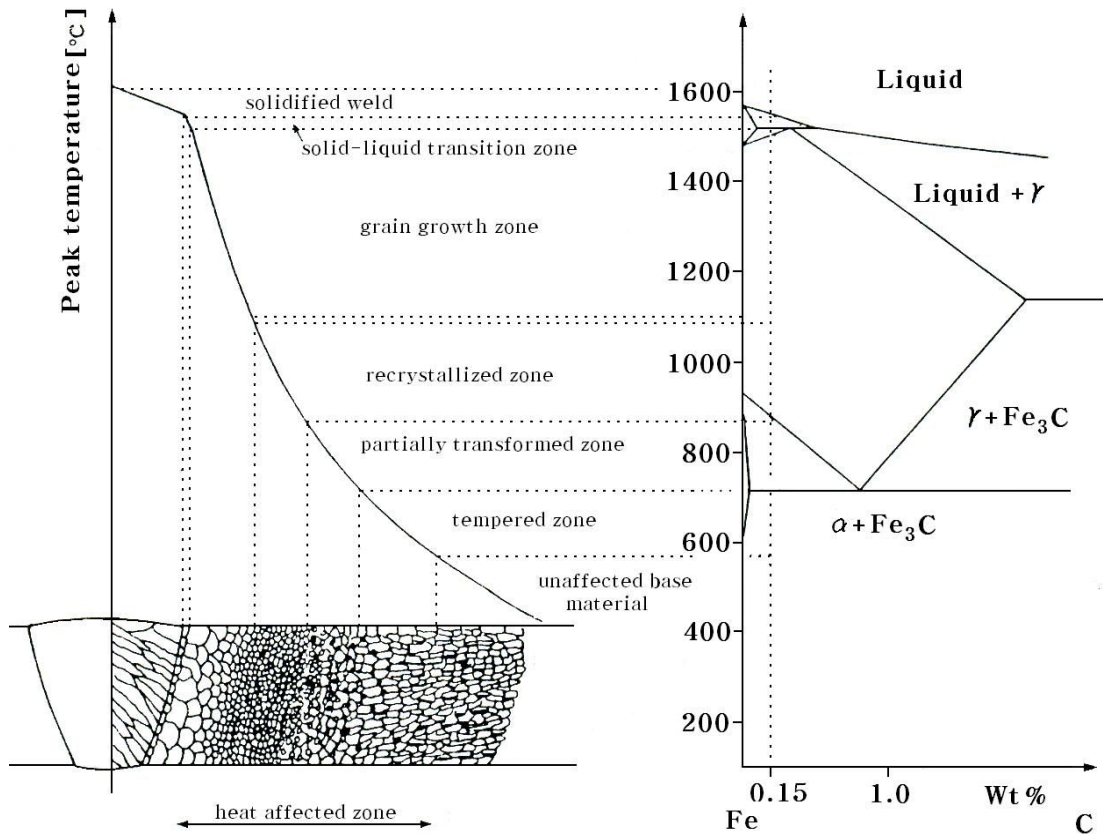


Fig. 4-32. A schematic diagram of the various sub-zones of the heat-affected zone to the alloy

HAZ는 세부구역으로 나눌 수 있으며, Fig. 4-32와 같이 강의 상변화를 볼 수 있다. 각 세부구역은 미세구조에 따라 각기 따로 불리워지고, 각 구조 형태는 각각 다른 기계적 성질을 갖고 있다. 구조 형태와 세부구역의 폭은 부분적으로 열사이클에 의하여 결정되어진다. 이러한 열사이클은 아크열의 이동과 모재 열전도율에 기인한다. 그러나 열영향부의 변화는 용접 전후의 열처리 및 기계적 처리에 따라 변한다. 결정립 성장구

역은 석출물의 존재와 고온에서 석출물들의 용해도에 영향을 받는다. 그러므로 열영향부에 있어서는 모재의 미세조직이 용접열에 대해 얼마나 반응하는가에 대하여 영향이 달라진다. 용접에 의한 열 사이클은 가열 사이클, 일정한 온도에서 유지시간과 냉각 사이클에 의하여 결정된다.

육안으로 직접 또는 저배율(약 10배 이하)의 확대경으로 관찰할 수 있는 금속 및 합금의 조직으로 금속 재료가 불균일할 경우에 육안으로 직접 관찰할 수 있기 때문에 이것을 매크로 조직이라 한다. 이것은 재료 내에 존재하고 있는 결정립의 발달 방향이나 크기의 상태, 수지상정, 결정입도, 조직 상태, 편석, 그 외에 조직 성분의 불균일함, 불순물 및 개재물 존재 상태, 가공에 의한 소성변형, 기공이나 균열 등의 결함을 검출할 수 있다.

육안으로도 용접 매크로 조직의 검출이나 결함의 검출을 관찰하기 위하여 용접 매크로 조직검사를 실시하는데, 용접시험편 단면을 표면을 평활하게 연마 후 금속재료에 맞는 적당한 시약으로 강한 부식제를 사용하여 용접부를 상당히 깊이 부식시켜서 표면과 충분한 대조로 하여 용접 단면 상태를 알기 위한 것이다.

용접 모재의 미세조직은 대개 고온에서 압연가공 때 가해지는 힘에 의해서 압연 후 열처리공정에 통하여 미세한 결정립을 갖게 되며, 이러한 가공에 의하여 얻어진 미세조직은 용접 모재에 우수한 기계적 성질을 가지게 해준다.

그러나 용접부에는 용접공정에서 높은 용접열에 의하여 용융되었다가 응고하는 용접 금속과 또는 비록 용융되지는 않았으나 용접 열에 의하여 고온으로 가열되었다가 냉각되어 재결정과정을 거쳐 용접 모재가 미세조직으로 변화하여 용접열영향부가 생성된다,

용접부에 있어서 이러한 조직의 변화는 용접부의 기계적 성질 등 물성에 많은 영향을 미치고 있다. 특히, 모재 및 용접부의 조직과 결정 입도 및 비금속 개재물 혼입 등 용접결함은 용접부의 기계적 성질에 매우 중요한 영향을 미친다,

이러한 용접 매크로 시험을 통하여 용접부에서 모재와 용착금속의 조직과 용접조건에 대한 적정성을 조사할 때 용접 매크로 조직시험편을 채취하여 용접조건에 따른 용착금속의 형성 및 정도와 용접비드의 크기, 용접 입열량의 적정성 또는 다층 용접조건에 대한 적정성 등을 판단할 수 있으며, 용접금속 내의 수지상 응고조직, 결정입도, 기포, 개재물 또는 용접균열 등의 결함을 관찰해 볼 수 있다.

즉 매크로 조직시험은 거시적인 관점에서 용접조건에 대한 적정성 또는 용착금속의 건전성을 판단할 수 있는 시험으로, 넓은 범위에 걸쳐 관찰할 수 있다는 이점이 있기 때문에 대상의 좋고 나쁨을 검사하는 데에 가장 직접적이고 중요한 방법의 육안조직이라고

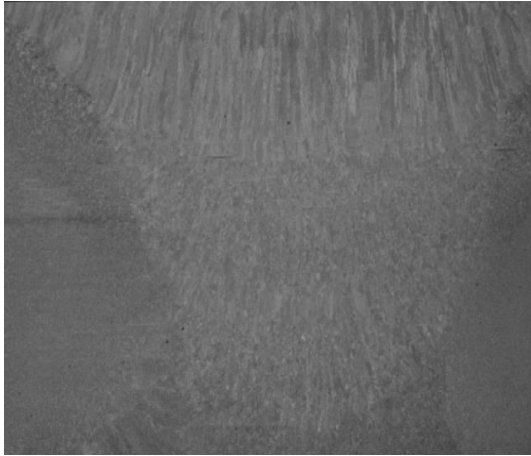
도 한다.

본 실험에서는 ATOS 80 고장력강의 용접조건에 따른 메크로 조직을 평가하기 위하여 Table 4-1과 같이 각각 용접시험편을 분류하였다.

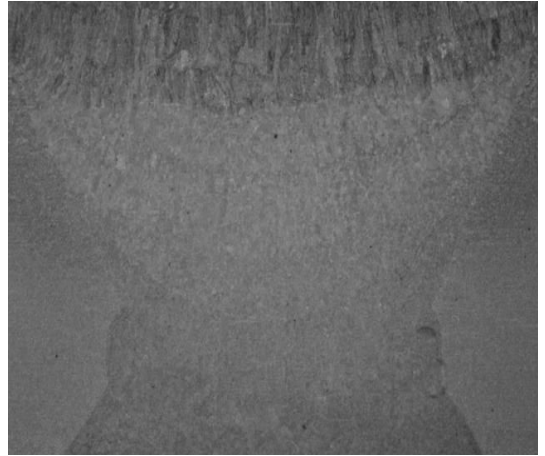
### 1. 용접이음의 패스 수에 따른 용접부 메크로 조직검사

용접이음의 패스 수에 따른 용접부 메크로 조직검사는 각 메크로 시험편의 용접이음 패스 수에 따라 Table. 3-4와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.

Figs. 4-33에서 보면 패스 수에 따른 용접조건에서 4패스로 용접한 시험편과 5패스로 용접한 시험편의 메크로 조직을 다음과 같이 고찰할 수 있다.



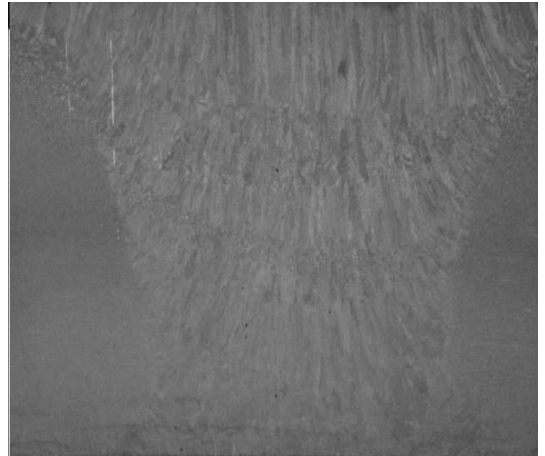
(a) A2



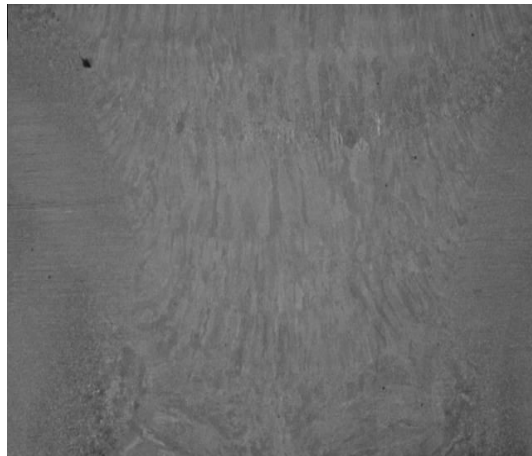
(b) A5



(c) A6



(d) A8



(e) A9

**Fig 4-33. Micro structs of weld specimen of welding pass number**

Fig 4-33의 (a)는 2패스의 본드부 근방과 4패스의 용착부에 기공이 1~2점 정도 발견되었으며, 전체가 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-33의 (b)는 1패스와 2패스 용착부에 기공 1점과 용착불량 나타나고 4패스 중간에 기공과 용접균열이 발견되었으며, 1과 2패스는 수지상정이 아닌 미세한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-33의 (c)는 4패스 용착부에 기공 1점과 본드부에 긴 용착불량과 3층 본드부에 기공 1점과 긴 용착불량과 슬래그 혼입하였고, 모든 패스에서는 용접 수지상정이 아닌, 단단하고 아주 미세한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

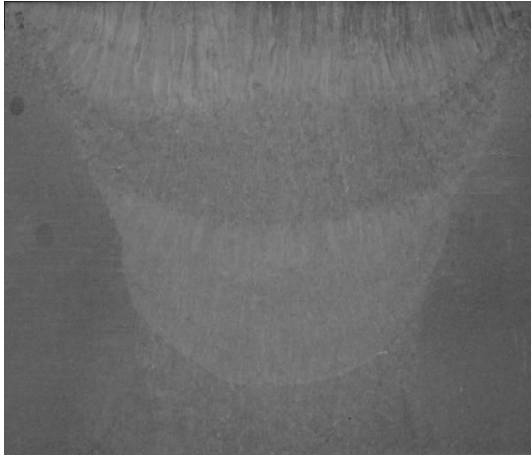
Fig 4-33의 (d)는 전체 패스에 약간의 기공이 형성된 것을 발견하였으며, 용접부 전체 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-33의 (e)는 3과 4패스 사이 본드부에 슬래그 혼입이 발견되고, 4패스의 본드부에 용착불량이 되어 있으나 열영향부 쪽으로 많은 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

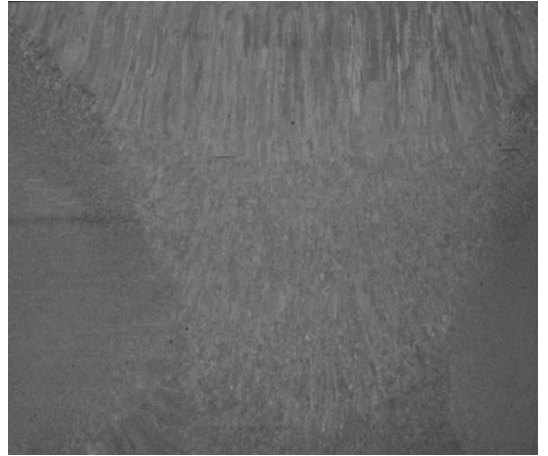
## 2. 용접부 실딩가스의 양에 따른 용접부 메크로 조직검사

용접부 실딩가스의 양에 따른 용접부 메크로 조직검사는 각 메크로시험편의 용접부 실딩가스 양에 따라 표 3-5와 같이 용접을 진행하였다. 용접부 실딩가스의 양에 따른 용접조건에서는 용접부의 보호가스를 15ℓ, 20ℓ, 25ℓ로 공급하여 용접한 시험편의 메크로 조직을 다음과 같이 고찰한다.





(a) B2



(b) A2



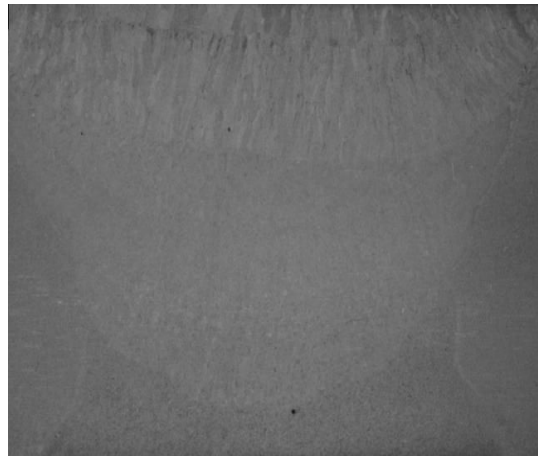
(c) B3



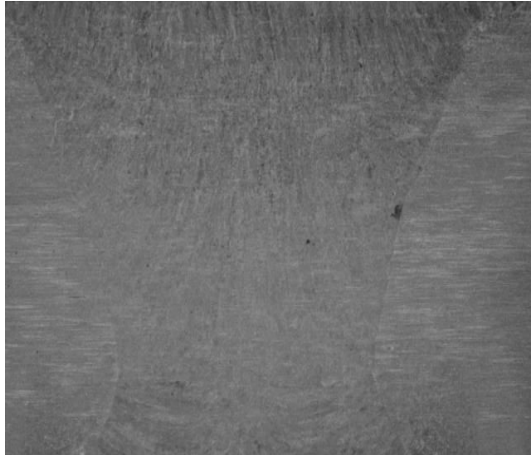
(d) B5



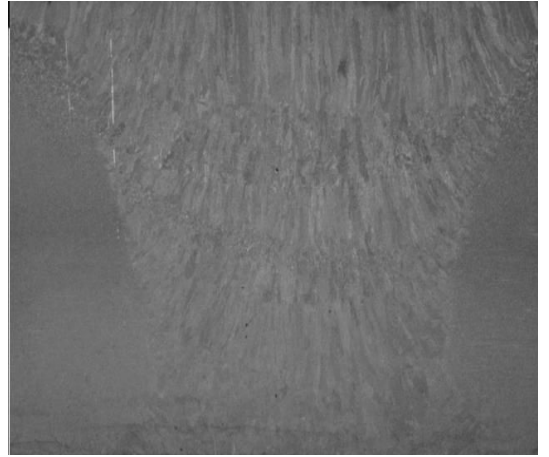
(e) A5



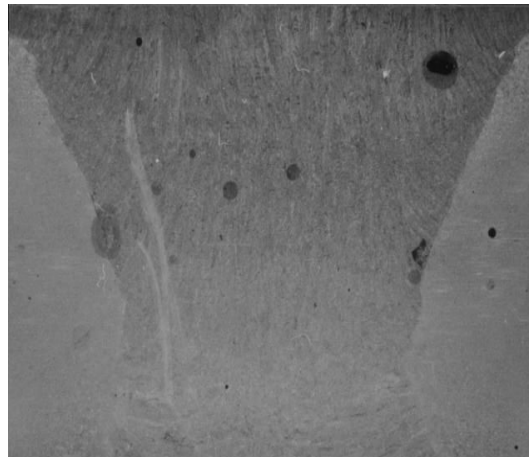
(f) B6



(g) B8



(h) A8



(i) B9

**Fig 4-34. Micro structs of weld specimen of shielding gas amounts**

Fig 4-34의 (a)는 1패스 용착부에 기공 1~2점과 4패스 본드부에 용합불량과 4패스와 2패스는 정상적인 수지상이 발달하였으며, 1패스와 3패스는 단단한 미세한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-34의 (b)는 2패스의 본드부 근방과 4패스의 용착부에 기공이 1~2점 발견되었으며, 전체가 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-34의 (c)는 2패스와 3패스 사이의 용착부에 용합불량이 발견되었으며, 1패스에서는 수지상이 아닌 비정상적인 용접조직이지만 2, 3, 4층은 용접 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-34의 (d)는 2, 3, 4패스의 용착부에 수많은 기공이 존재하는 것을 볼 수 있다. 2패스와 3패스 사이의 용착부에 용합불량이 발견되었으며, 1, 2패스는 수지상이 아닌 단단하고 미세한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-34의 (e)는 1패스의 용착부에 기공 1점, 2패스에 기공 1점과 용착불량이 발견되었다. 3패스와 4패스 사이에 기공 1점과 용접균열이 발견되었으며, 3패스와 4패스에는 정상적인 용접수지상이 발달하였고, 1, 2패스는 용접 수지상정이 아닌 아주 미세한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-34의 (f)는 1패스와 2패스 사이의 용착부에 기공 1점과 3층과 4층 사이의 용착부에 2패스에 기공 2~3점이 발견되었으며, 1, 2, 3층은 용접 수지상정이 아닌 아주 미세한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

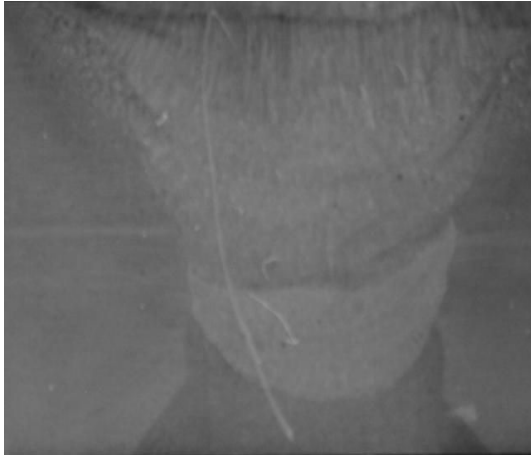
Fig 4-34의 (g)는 2층과 3층 사이의 용착부에 기공 1~2점과 본드부에 슬래그 혼입이 발견되었으며, 전체 용접부에 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-34의 (h)는 용착부 전체에 고루 약간의 기공이 형성된 것을 발견할 수 있으며, 전체가 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

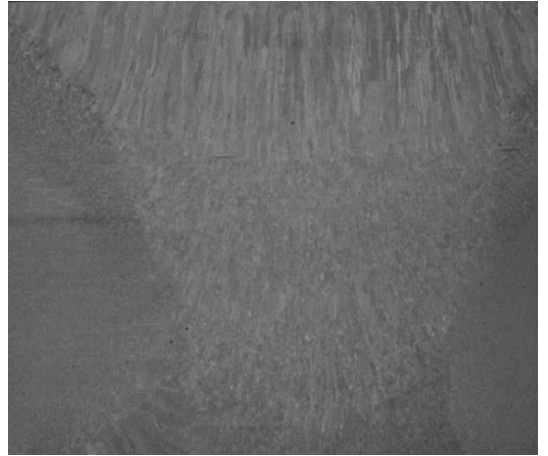
Fig 4-34의 (i)는 용접부 전체에 기공이 다수 형성되어 있는 것을 발견할 수 있었다. 3패스와 4패스의 용착부와 본드부에는 많은 슬래그 혼입되어 있으며, 2패스와 3패스, 4패스는 용접결함이 없는 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

### 3. 용접이음부 개선각도에 따른 용접부 매크로 조직검사

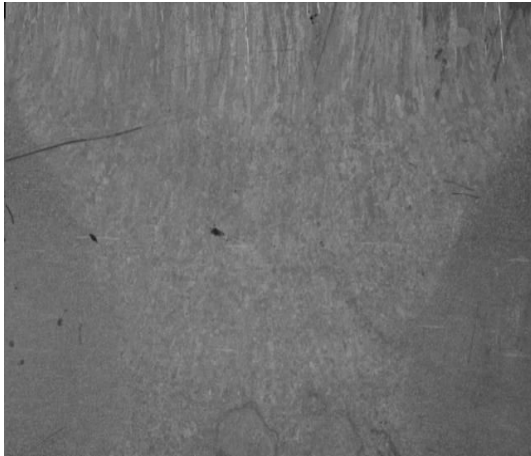
용접이음부 개선각도에 따른 매크로 조직검사는 각 매크로시험편의 용접이음부 개선각도에 따라 Table 3-6과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물 작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.



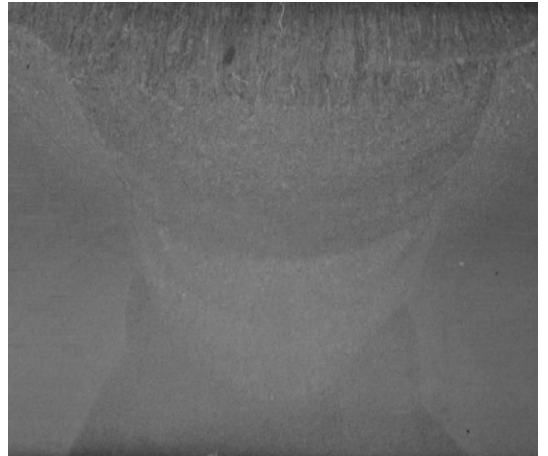
(a) C1



(b) A2



(c) C2



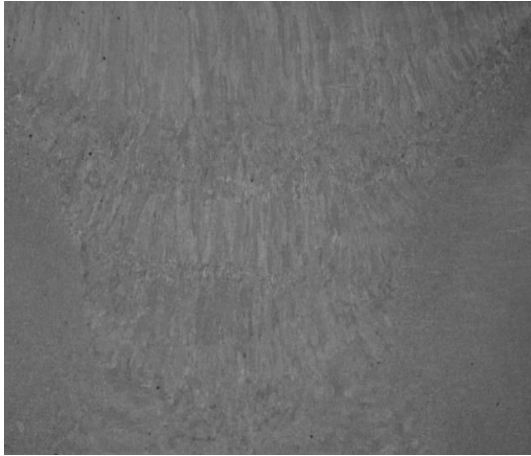
(d) C3



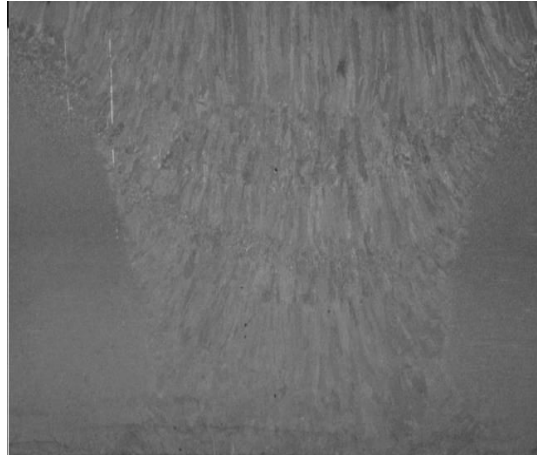
(e) A5



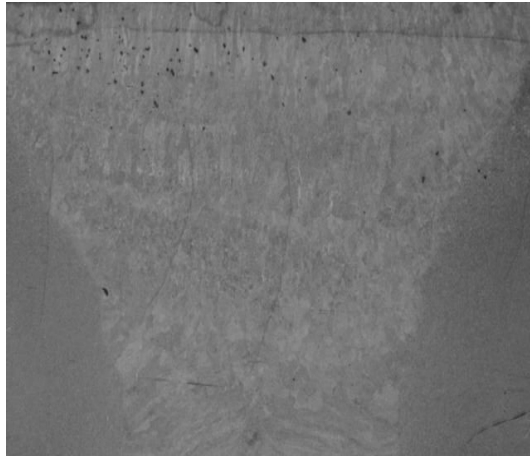
(f) C4



(g) C5



(h) A8



(i) C6

**Fig 4-35. Micro structs of weld specimens opening angle**

Fig 4-35의 (a)는 3패스와 4패스 사이 용착부에 적은 슬래그가 혼입되어 있는 것과 4층 본드부에 용합불량이 있는 것을 발견할 수 있다. 1패스와 2패스는 수지상이 아닌 미세한 용접조직이 형성되어 있고, 3패스, 4패스는 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-35의 (b)는 2패스의 본드부 근방과 4패스의 용착부에 기공이 1~2점 정도 발견되었으며, 전체가 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-35의 (c)는 1패스 본드부에서는 용접균열과 2패스/ 3패스 사이 용착부에 슬래그가 혼입/ 4패스 중앙부에 기공이 다수 밀집되어 있는 것이 발견되었다. 3패스와 4패스는 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-35의 (d)는 1패스와 4패스의 열영향부와 4패스의 용착부에 기공 2~3점이 형

성된 것을 볼 수 있었다. 1, 2, 3패스는 수지상이 아닌 단단하고 미세한 용접조직이 발달되어 있고, 4패스는 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-35의 (e)는 1패스의 용착부에 기공 1점/ 2패스에 기공 1점과 용착불량/ 4패스 중간에 기공 1점과 용접균열이 발생되었다. 3, 4패스는 정상적인 수지상이 발달하였고, 1, 2패스는 아주 미세한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-35의 (f)는 1패스 용착부와 3패스와 4패스 사이에 있는 용착부에 용접균열이 길게 형성되어 있는 것을 발견할 수 있었다. 4패스는 정상적인 수지상이 발달하는데, 1, 2, 3패스는 아주 미세한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

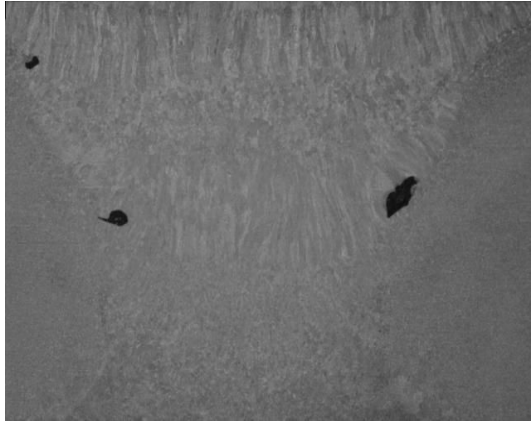
Fig 4-35의 (g)는 용착부 전체에 걸쳐서 기공이 다수 발견되었고, 4패스 본드부에 일부 용합불량이 있고, 3, 4패스 용착부 사이 아주 적은 슬래그가 혼입되어 있었다. 전체 용접부는 정상적인 수지상이 발달된 용접조직으로 되어 있다.

Fig 4-35의 (h)는 용접부 전체에 약간의 작은 기공이 형성된 것을 발견할 수 있으며, 전체 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

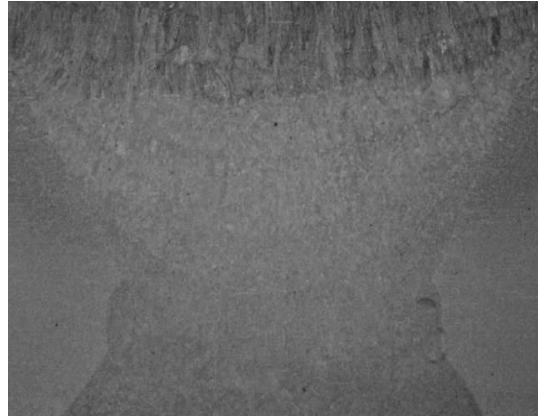
Fig 4-35의 (i)는 1패스 용착부에 기공 1점/ 2패스 본드부 근방 용착부에 슬래그 혼입이 되어 있고, 3층 용착부에 기공이 2~3점 내포되어 있으며, 4패스 용착부에 수많은 기공이 내포되어 있는 것을 발견할 수 있다. 용접부 전체에 걸쳐서 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

#### 4. 용접이음부 루트간격에 용접부 메크로 조직검사

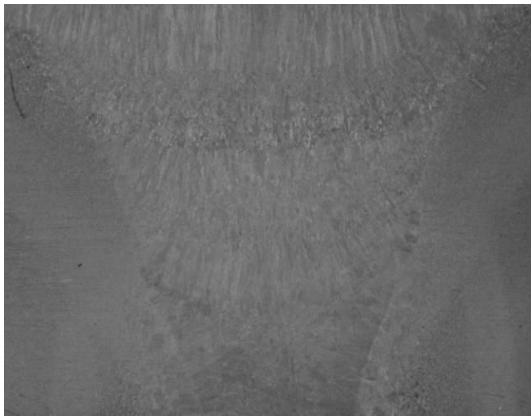
용접이음부 루트간격에 따른 용접부 메크로 조직검사는 각 시험편에 따라 3mm, 5mm로 분류하여 Table 3-7과 같이 구속하지 않는 상태의 비구속 용접과 현장 구조물 작업과 같이 구속시킨 상태의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.



(a) D1



(b) A5



(c) D3



(d) A8

**Fig 4-36. Micro structs of weld specimens of joints root gap**

Fig 4-36의 (a)는 3패스와 4패스의 용착부에 슬래그 3점이 크게 혼입되어 있는 것을 발견할 수 있다. 전체에 걸쳐서 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

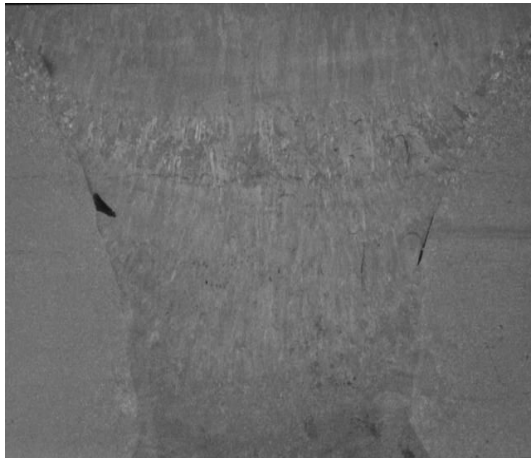
Fig 4-36의 (b)는 1패스 용착부에 기공 1점/ 2패스에 기공 1점과 용착 불량/ 4패스 중간에 기공 1점과 용접균열이 발견되었다. 3패스와 4패스는 수지상이 발달하였고, 1, 2패스는 미세한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-36의 (c)는 전체에 걸쳐서 열영향부에 1~2점 정도 기공이 발견되었으나, 용착부에는 용접결함이 발견되지 않았다. 전체에 걸쳐서 정상적인 수지상이 발달하여 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

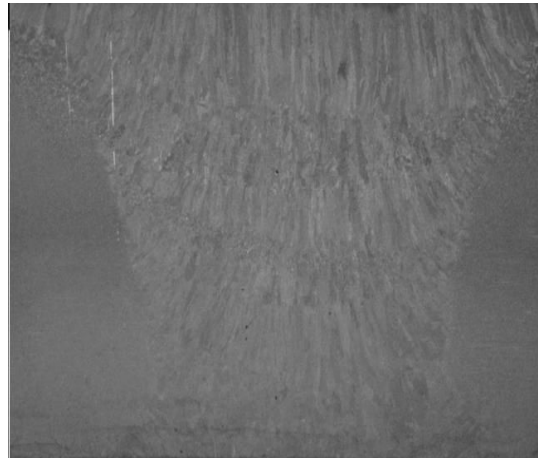
Fig 4-36의 (d)는 용접부 전체에 약간의 기공이 발견되었다. 전체가 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

## 5. 용접부의 혼합가스 비율에 따른 용접부 메크로 조직검사

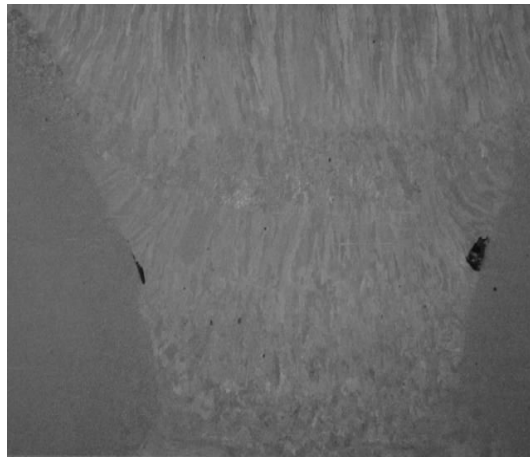
용접부의 혼합가스 비율에 따른 용접부 메크로 조직검사는 각 메크로 시험편에 CO<sub>2</sub> 10% + Ar90%, CO<sub>2</sub> 20% + Ar80%, CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%의 혼합가스 비율에 따라 보호가스로 사용하여 Table 3-8과 같이 구속하지 않는 상태의 비구속 용접 방법으로 실시하여 용접을 진행하였다.



(a) E1



(b) A8



(c) E3

Fig 4-37. Micro structs of weld specimens of joints mixer gas ratio

Fig 4-37의 (a)는 용접부 전체에 걸쳐서 기공이 고르게 나타났다. 3패스에 본드부에 길게 융합불량과 슬래그 혼입이 되어 있으며, 3패스의 용착부에 용접균열이 발견되었다. 용접부 전체에 정상적인 수지상이 발달하여 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.



Fig 4-37의 (b)는 용접부 전체에 기공이 고르게 나타났다. 전체가 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

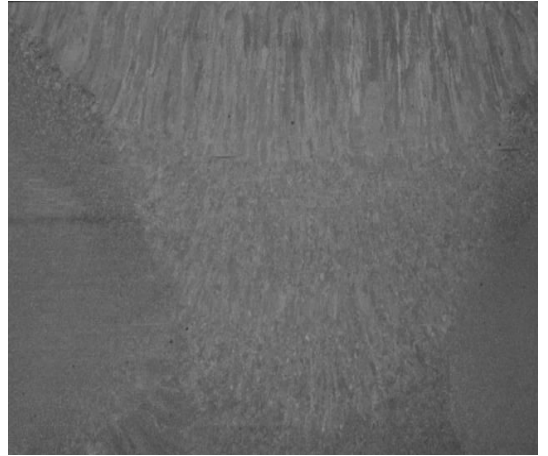
Fig 4-37의 (c)는 용접부 전체에 걸쳐서 기공이 고르게 나타났다. 2패스와 3패스의 본드부에 작은 용합불량과 큰 슬래그가 혼입이 되어 있으며, 용접부 전체에 걸쳐서 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

## 6. 용접이음부의 예열 유무에 따른 용접부 메크로 조직검사

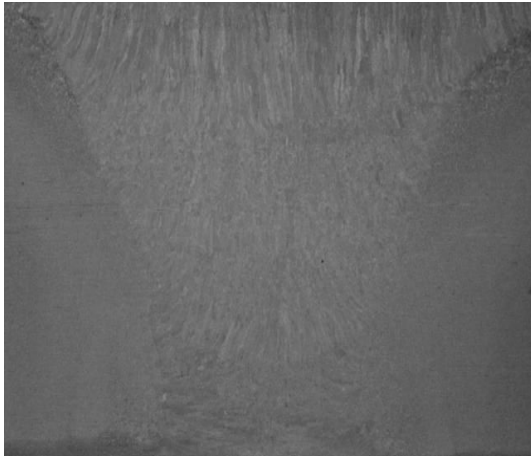
용접이음부의 예열 유무에 따른 용접부 메크로 조직검사는 각 메크로 시험편에 160℃ 예열의 유무에 따라 Table 3-9와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속 용접 방법으로 실시하여 용접을 진행하였다.



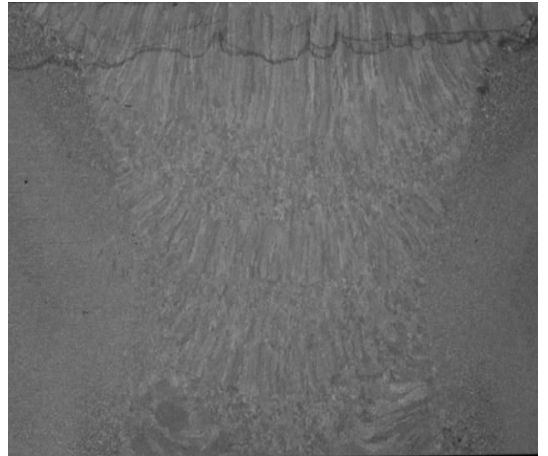
(a) F1



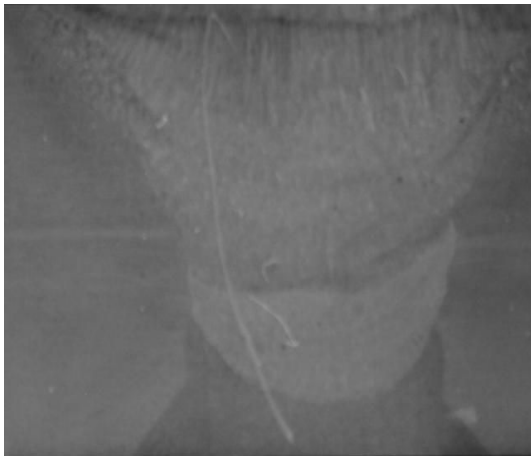
(b) A2



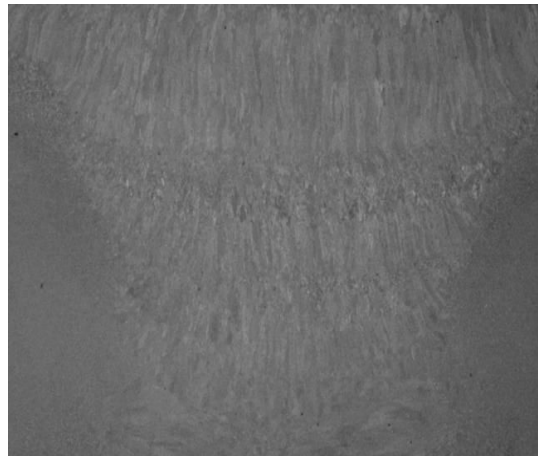
(c) F2



(d) F4



(e) C1



(f) F5



(g) A8

**Fig 4-38. Micro structs of weld specimens joints preheating and non-preheating**

Fig 4-38의 (a)는 1패스의 본드부에 용합불량/ 2패스의 용착부에 기공/ 3패스의 본드부에 용합불량과 슬래그 혼입/ 4패스의 용착부에 기공이 발견되었으며, 용접부 전체에 미세한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-38의 (b)는 본드부 근방과 4패스(층) 용착부에 기공이 1~2점 정도 발생되었으며, 전체가 정상적인 수지상이 발달하여 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-38의 (c)는 2패스와 3패스 사이 용착부에 기공이 1~2점 정도 발견되었고, 전체가 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-38의 (d)는 1패스의 본드부에 기공/ 3패스의 본드부에 기공이 1~2점/ 3, 4패스의 용착부 사이에 기공과 용착불량이 발견되었다. 전체 수지상이 발달하였으나 4층에 일부가 슬립 현상이 형성되어 있는 것을 볼 수 있다.

Fig 4-38의 (e)는 3, 4패스 사이 용착부에 적은 슬래그가 혼입되어 있고/ 4패스 본드부에 용합불량이 발견되었다. 1~ 2패스는 수지상이 아닌 경하고 미세한 용접조직이고, 3~ 4패스는 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-38의 (f)는 용접부 전체에 고르게 기공이 발견되었고, 정상적인 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

Fig 4-38의 (g)는 용접부 전체에 고르게 기공이 발견되었고, 전체가 수지상이 발달한 용접조직이 형성된 것을 볼 수 있다.

## 제5절 용접부의 미세조직 특성

모재의 미세조직은 고온 압연작업 후, 열처리 공정에 의하여 미세한 결정립이 형성되며, 이러한 미세한 조직은 금속의 우수한 기계적 성질을 가지게 해준다. 용접부에는 반면 국부적으로 모재에 높은 용접 열에 의하여 용융되었다가 응고하는 용착금속과 비록 용융되지는 않았으나 용접열에 의하여 고온으로 가열되었다가 냉각되면서 재결정과정을 거쳐 미세조직이 변화하는 용접 열영향부가 생성되며, 열영향을 받지 않은 모재 그 자체로 형성되기 때문에 용접부에 있어서 이러한 조직의 변화는 용접부의 제 성질에 많은 영향을 미치고 있다. 내·외부 변형에 의하여 달라지고, 열에 의하여 남아 있는 내부 잔류응력이 형성되며, 특히 모재 및 용접부의 조직과 결정 입도 및 비금속 개재물, 용접결함 등은 용접부의 기계적 성질에 매우 중요한 영향<sup>45,46)</sup>을 미친다.

일반적으로 용접부에서 모재와 용접금속의 조직과 용접조건에 대한 적정성을 조사할 때에는 우선 메크로 조직 시험편을 채취하여 용접 조건에 따른 용접금속의 형성 정도와 용접비드의 크기로 용접 입열량의 적정성 또는 다층 용접조건에 대한 적정성 등을 판단해 볼 수 있으며, 용접금속 내의 수지상 응고조직, 결정 입도, 기포, 개재물 또는 균열 등의 결함을 관찰해 볼 수 있다.

또한 용접 미세조직에 있어서는 용접 열영향부의 물성에 따라 이 부분의 미세 조직에 많은 영향을 받게 되는데, 모재의 화학조성과 용접 입열량의 크기에 따른 가열, 냉각 시간의 변화에 따라 Ferrite, Pearlite, Bainite 및 Martensite 등의 미세조직이 생성된다<sup>47,48)</sup>. 용접 열영향부 물성에 영향을 미치는 매우 중요한 요인으로서 이러한 미세조직의 변화뿐만 아니라 결정립의 크기가 매우 중요하게 작용하고 있다. 따라서 용접 열영향부의 미세조직을 관찰하는 것은 이 부분의 물성이 가지게 되는 기계적 성질 등의 물성이 어떠한 요인에 의하여 결정되는지를 파악하는데 매우 유용한 정보를 얻을 수 있게 해준다. Fig. 4-95는 용접 열영향부 미세조직의 한 예를 보여주는 것인데, 고온 가열에 따른 조대화된 오스테나이트 결정립의 경계를 따라서 생성된 결정립계에 페라이트가 분포된 모습을 볼 수 있다<sup>49,50)</sup>.

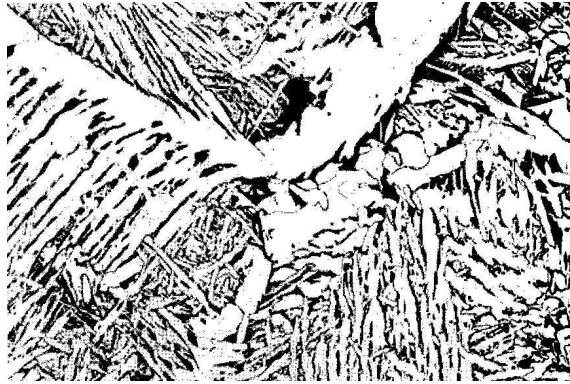


Fig. 4-39. Micro structure of welding joint

본 실험에서는 ATOS 80 고장력강의 용접조건에 따른 매크로(macro) 조직을 평가하기 위하여 Table 4-1과 같이 각각 용접시험편을 분류하였다.

용접조직검사용 용접 시험편은 폴리싱 후 초음파 세척기에서 기름, 점성물질, 녹, 먼지 등을 완전히 제거한 다음, 마운팅한 시험편을 주사 전자현미경으로 촬영하였다<sup>51,52</sup>).

ATOS80 고장력강의 시험편 모재 바탕 조직은 Ferrite 기지에 Martensite 조직이 형성되어 있고, 그 위에 Bainite가 존재하고 Pearlite의 수지상으로 이루어졌다<sup>53,54,55</sup>).

### 1. 용접이음의 패스 수에 따른 용접부 미세조직 검사

용접이음의 패스 수에 따른 용접부 미세조직 검사는 각 미세조직 시험편의 용접이음의 패스 수에 따라 Table 3-4와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속 용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.

패스 수에 따른 용접조건에서는 4패스로 용접한 시험편과 5패스로 용접한 시험편의 용접부 시험편의 미세조직검사를 다음과 같이 고찰할 수 있다.

#### 가. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 용접의 4패스일 때

A2 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 얼룩진 검은 반점들은 Pearlite조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 드문 드문 분포되어 있는 얼룩진 검은 반점들은 Pearlite조직으로 형성되어 있는 것을 알 수가 있다.

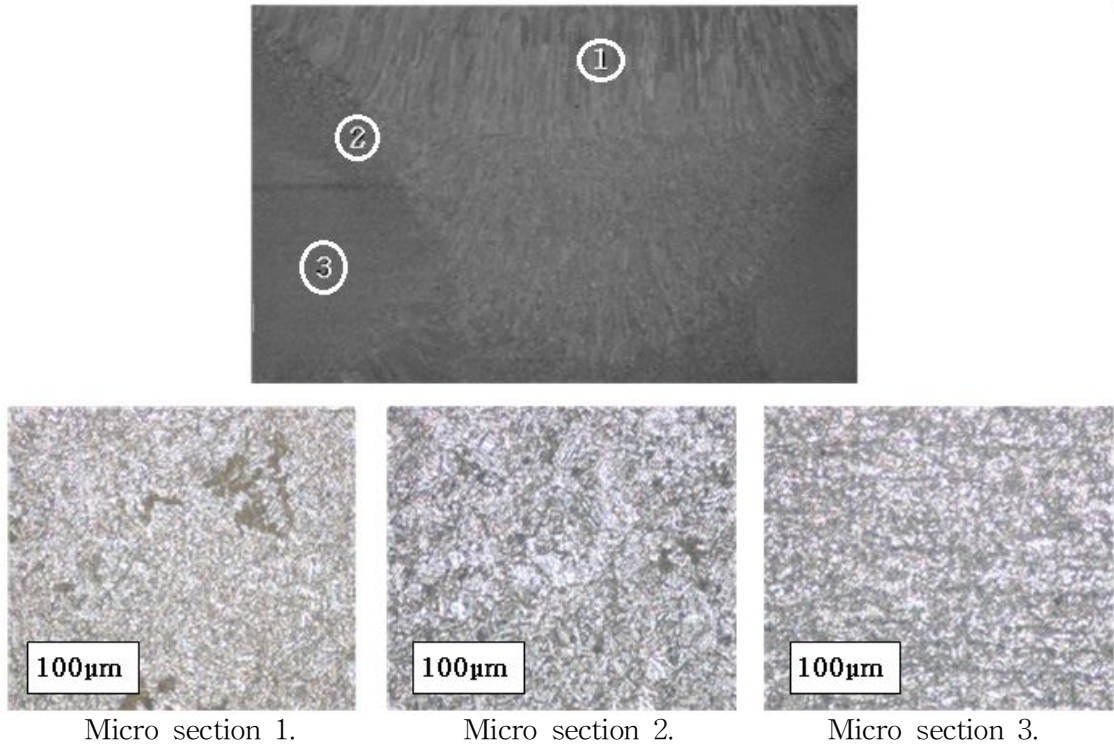
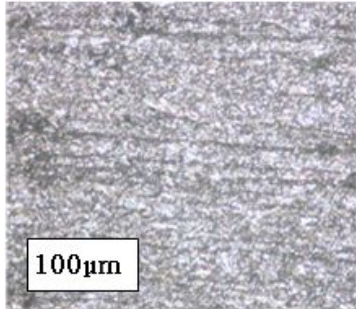
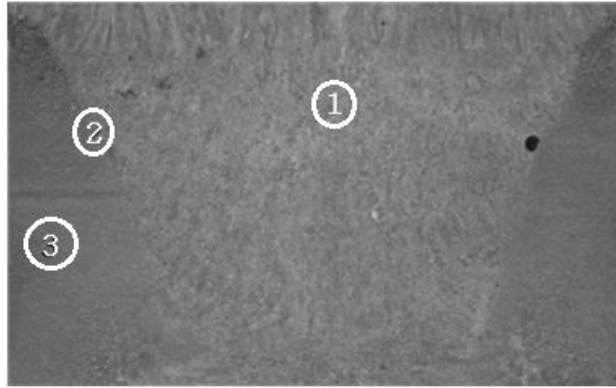


Fig. 4-40. Micro structure of A2 welding joint

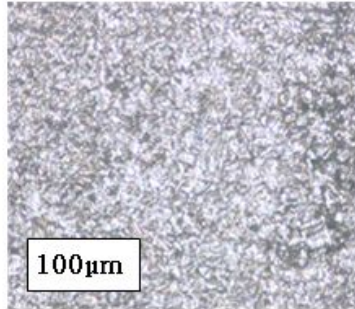
#### 나. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 용접의 5패스일 때

A3 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 그 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 가운데 일부분 얼룩진 검은 반점들은 Pearlite조직으로 형성되었다.

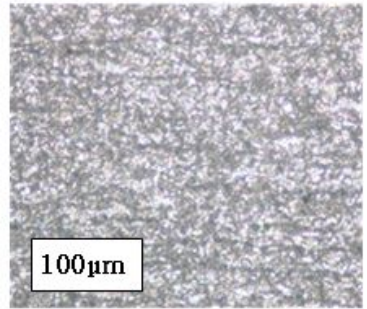
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 얼룩진 검은 반점들은 Pearlite조직이 모재쪽 가까이 드문드문 분포되어 있고, 용착부 가까이는 많이 분포되어 있는 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

**Fig. 4-41. Micro structure of A3 welding joint**

#### 다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 4패스일 때

A5 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite조직으로 형성되어 있었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 일부 적은 반점 흑색은 Pearlite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

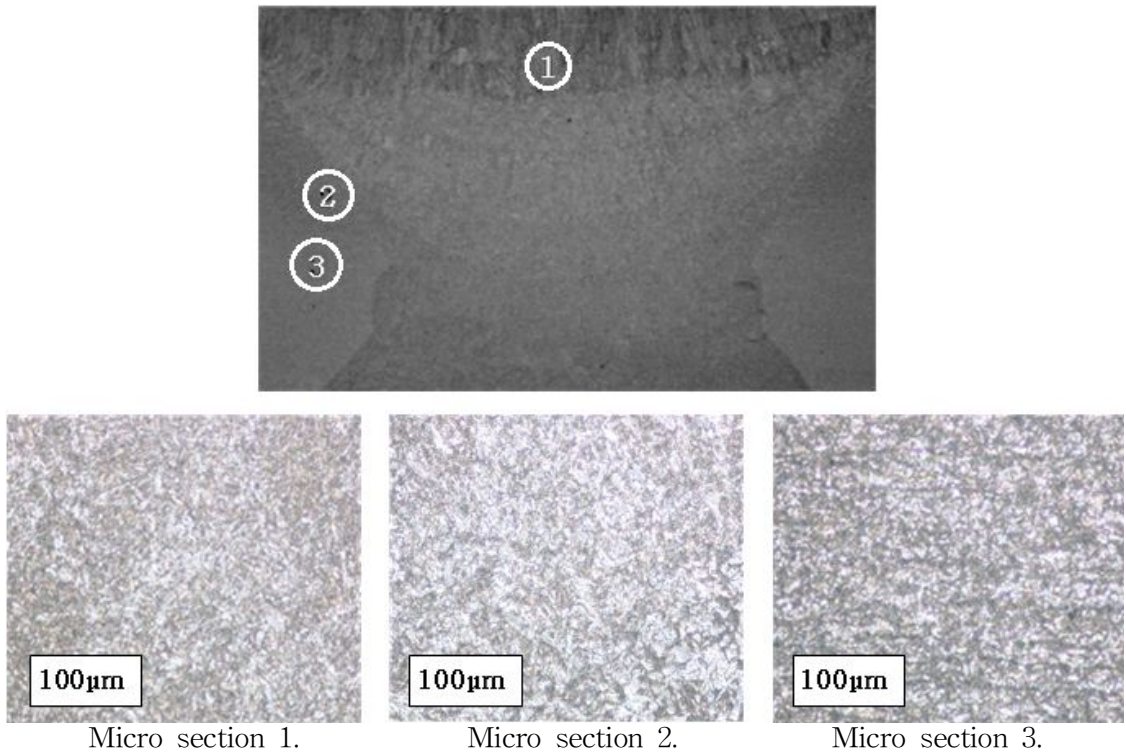


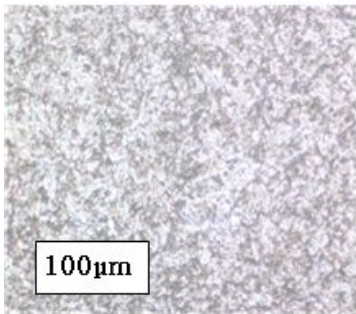
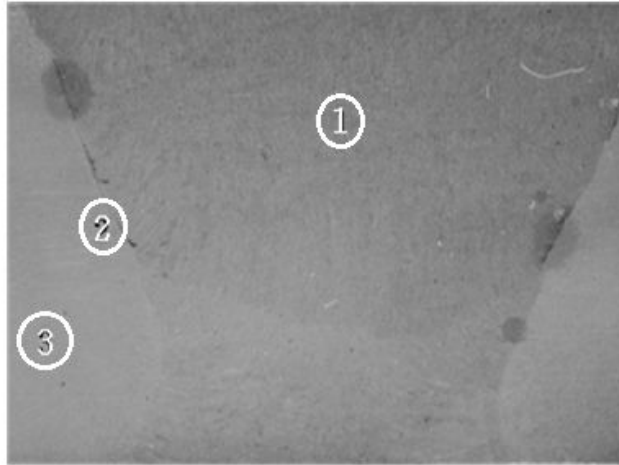
Fig. 4-42. Micro structure of A5 welding joint

#### 라. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 5패스일 때

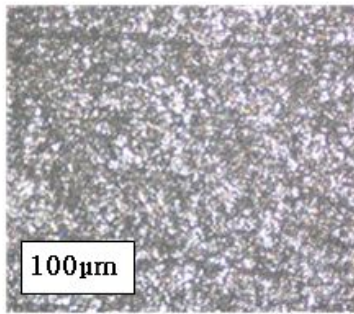
A6 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite조직으로 형성되어 있는 것을 알 수가 있다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 일부 Bainite조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

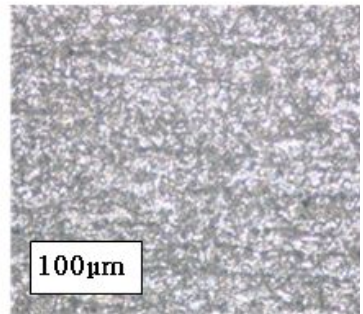




Micro section 1.



Micro section 2.



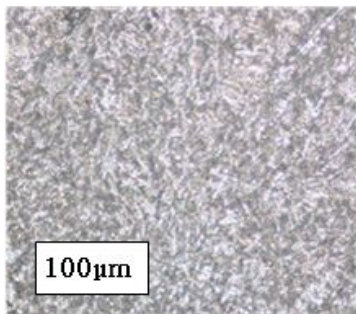
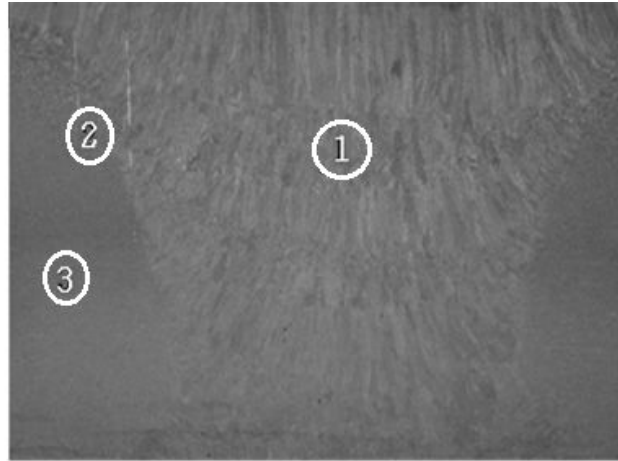
Micro section 3.

**Fig. 4-43. Micro structure of A6 welding joint**

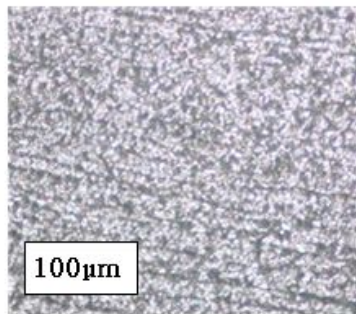
**마. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%에 비구속 용접의 4패스일 때**

A8 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite조직으로 형성되어 있는 것을 알 수가 있었다.

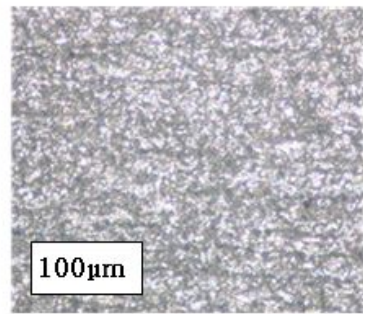
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 Bainite조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

**Fig. 4-44. Micro structure of A8 welding joint**

**바. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%에 비구속 용접의 5패스일 때**

A9 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 흰점은 구상 탄화물이 분포된 조직으로 형성되어 있었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

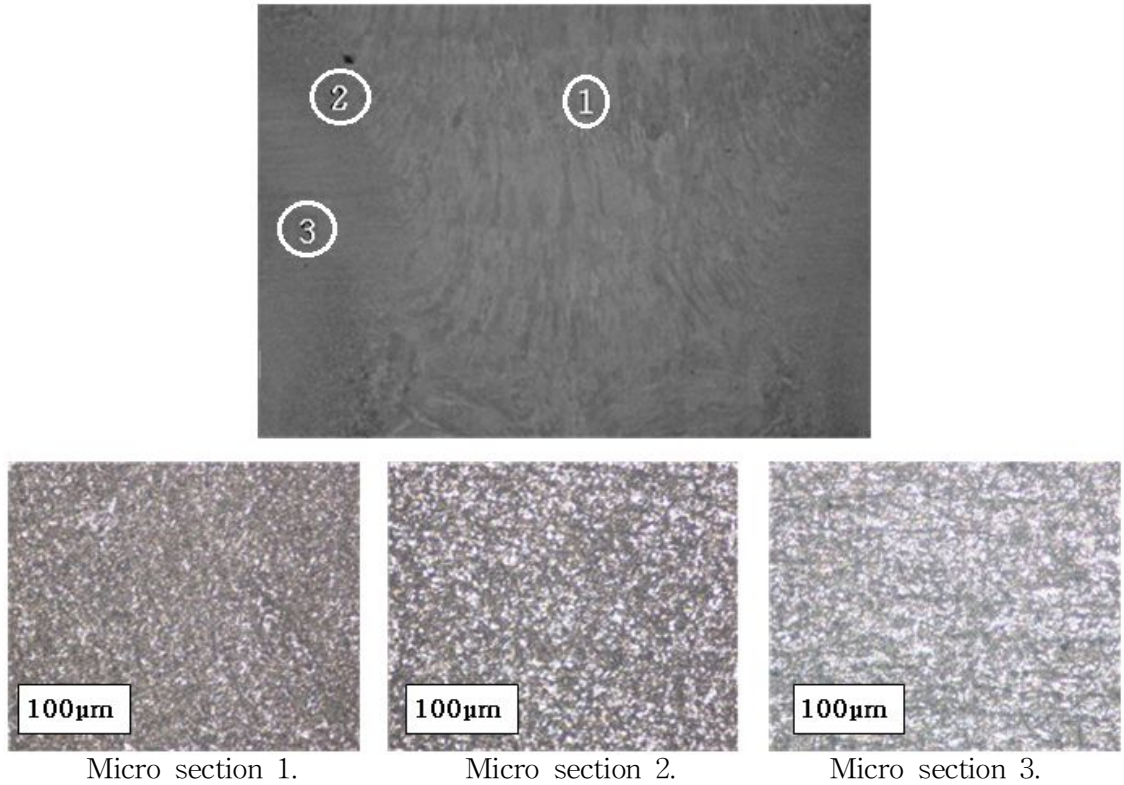


Fig. 4-45. Micro structure of A9 welding joint

## 2. 용접부 실딩가스의 양에 따른 용접부 미세조직 검사

용접부 실딩가스의 양에 따른 용접부 미세조직 검사는 각 미세조직시험편의 용접부 실딩가스 양에 따라 Table 3-5와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.

용접부 실딩가스의 양에 따른 용접조건에서는 용접부의 보호가스를 15ℓ, 20ℓ, 25ℓ로 공급하여 용접한 용접부 시험편의 미세조직 검사를 다음과 같이 고찰할 수 있다.

### 가. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 용접의 15ℓ일 때

B2 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite조직으로 형성되어 있었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Pearlite 위에 Bainite 조직이 형성된 것을 알 수 있다.

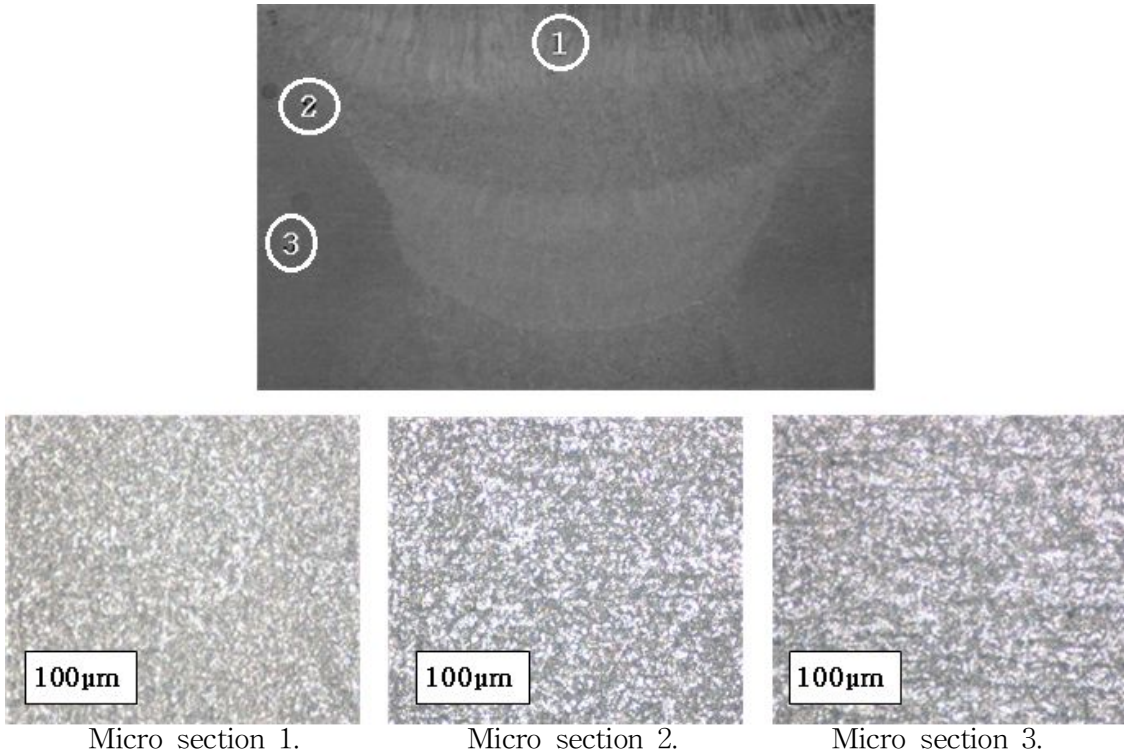
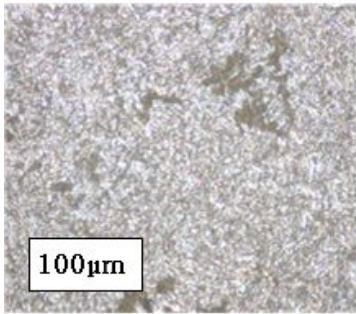
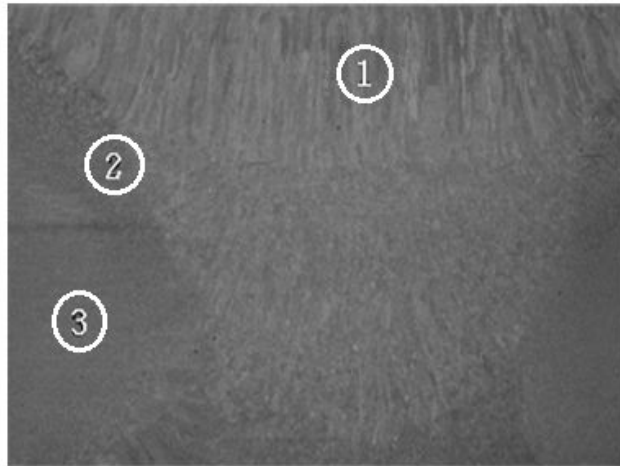


Fig. 4-46. Micro structure of B2 welding joint

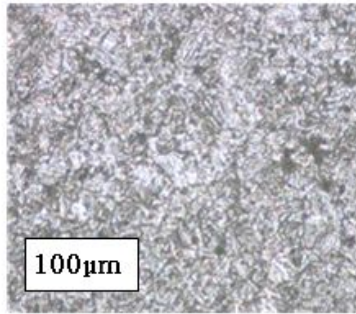
#### 나. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 용접의 20ℓ 일 때

A2 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 얼룩진 검은 반점들은 Pearlite조직으로 형성되었다.

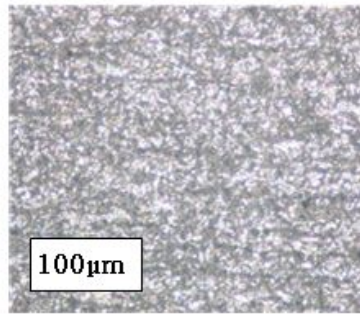
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 드문 드문 분포되어 있는 얼룩진 검은 반점들은 Pearlite조직으로 형성된 것을 알 수가 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



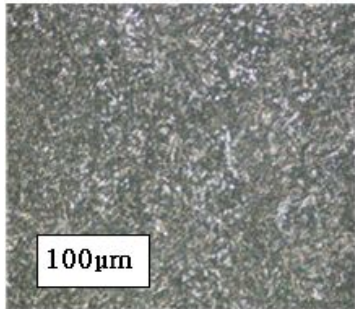
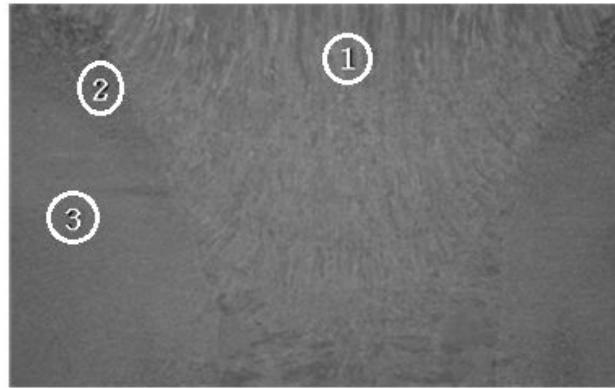
Micro section 3.

**Fig. 4-47. Micro structure of A2 welding joint**

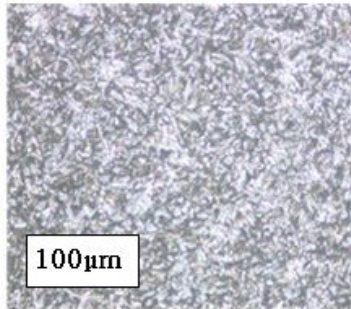
#### 다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 용접의 25ℓ 일 때

B3 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 흰점은 구상 탄화물이 분포된 조직으로 형성되었다.

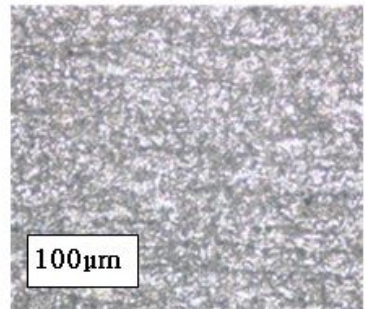
경계부에서는 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite 위에 일부 Bainite 조직으로 형성되어 있는 것을 알 수가 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



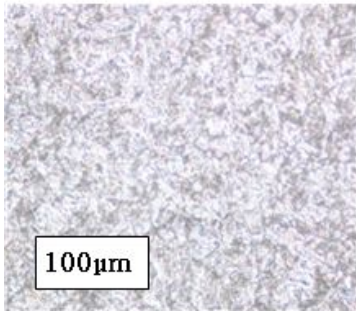
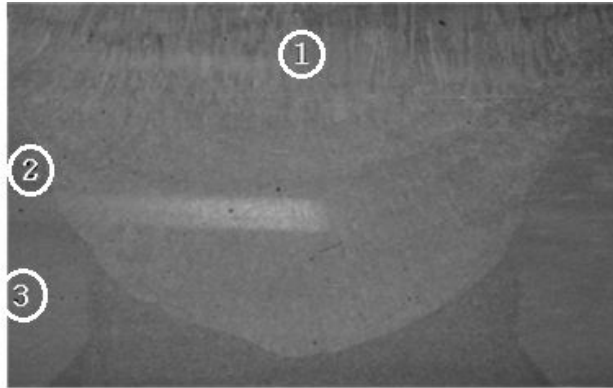
Micro section 3.

**Fig. 4-48. Micro structure of B3 welding joint**

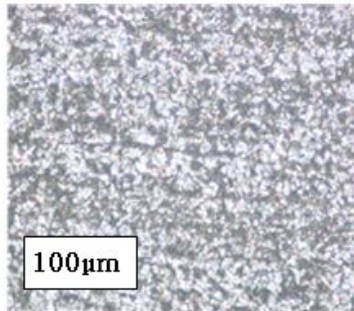
**라. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 15ℓ 일 때**

B5 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite조직으로 형성되어 있는 것을 알 수가 있다.

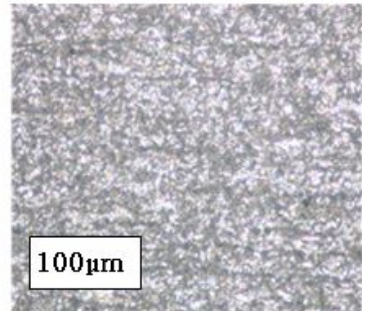
경계부에서는 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite 위에 Bainite 조직으로 형성되어 있는 것을 알 수가 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

**Fig. 4-49. Micro structure of B5 welding joint**

**마. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 20ℓ 일 때**

A5 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 일부 적은 반점 흑색은 Pearlite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

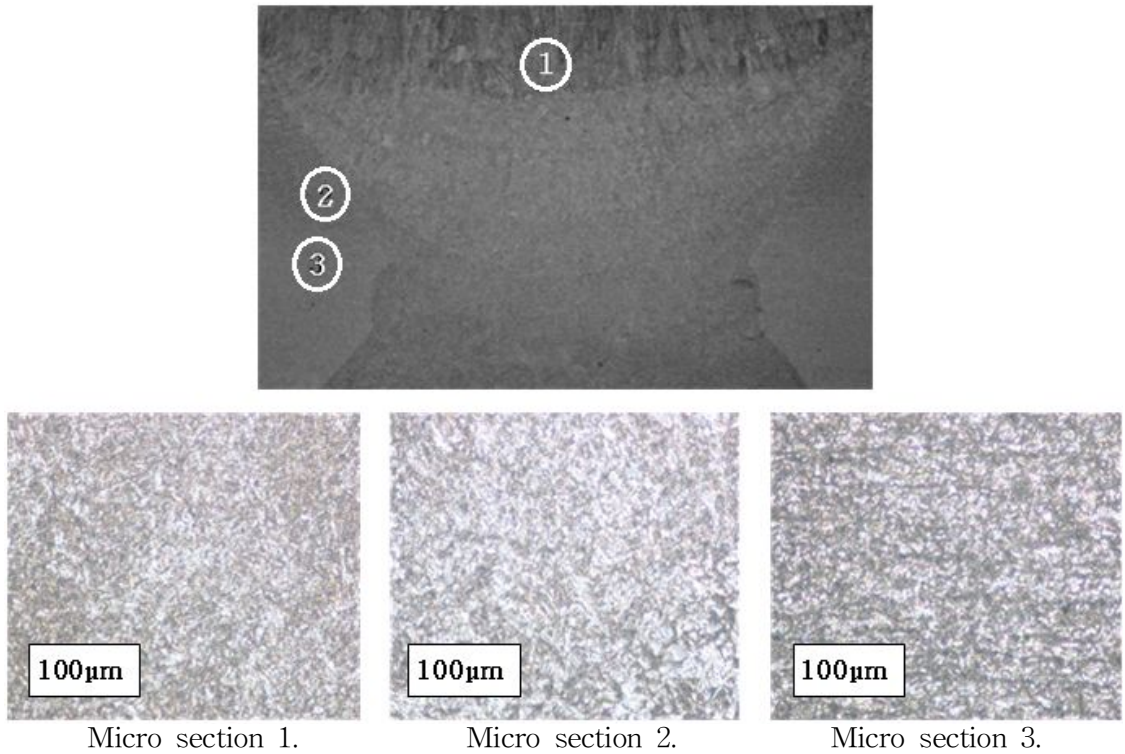


Fig. 4-50. Micro structure of A5 welding joint

**바. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 25ℓ 일 때**

B6 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 흰점은 구상 탄화물이 분포된 조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 일부 적은 반점 흑색은 Pearlite와 Bainite조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



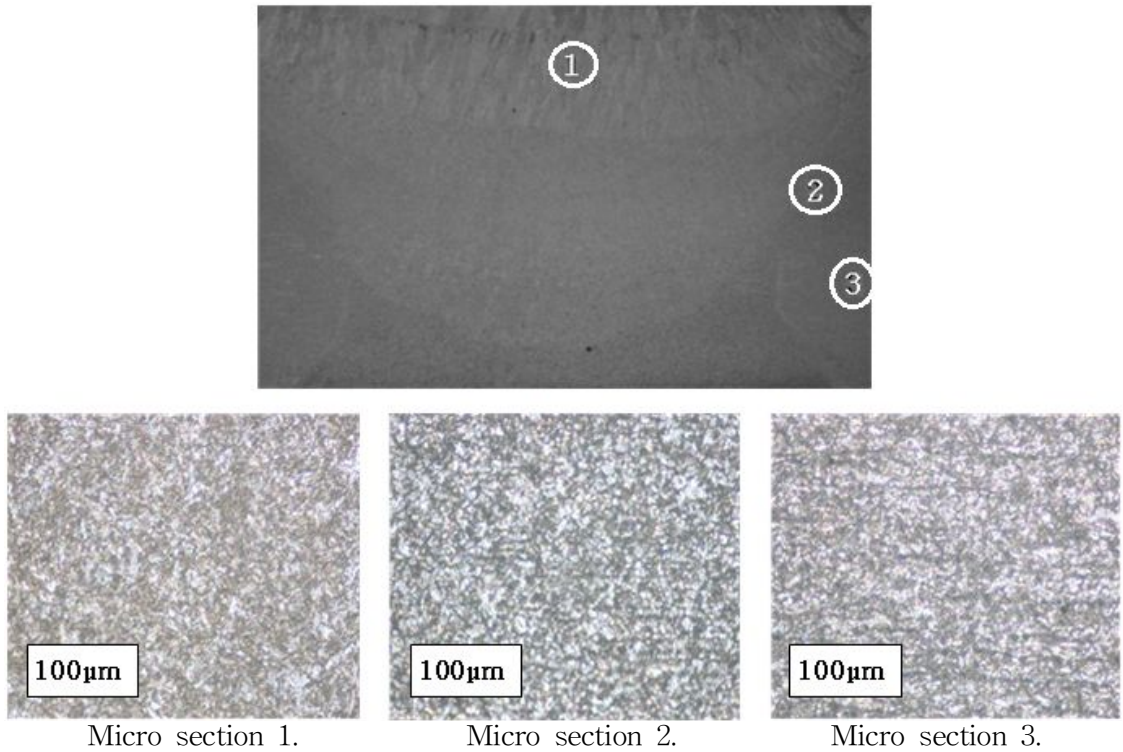
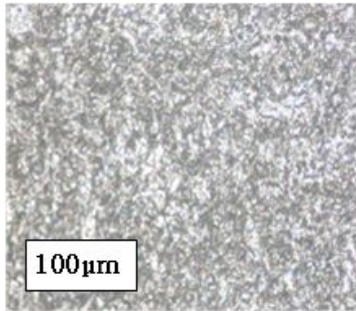
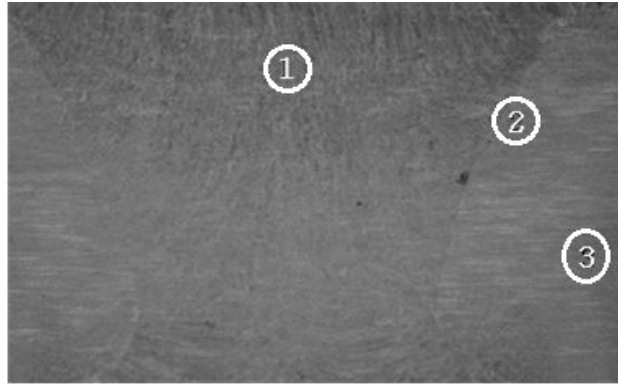


Fig. 4-51. Micro structure of B6 welding joint

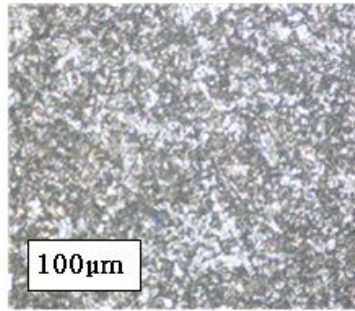
**사. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%에 비구속 용접의 15ℓ 일 때**

B6 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite조직으로 형성되었다.

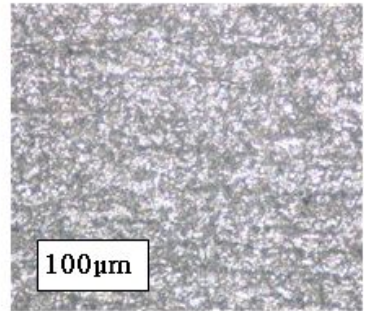
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 일부 적은 반점 흑색은 Pearlite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



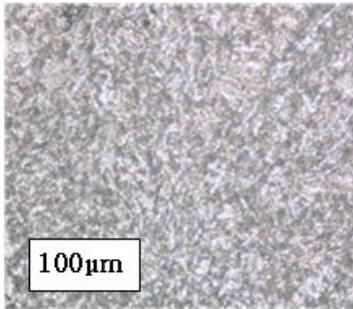
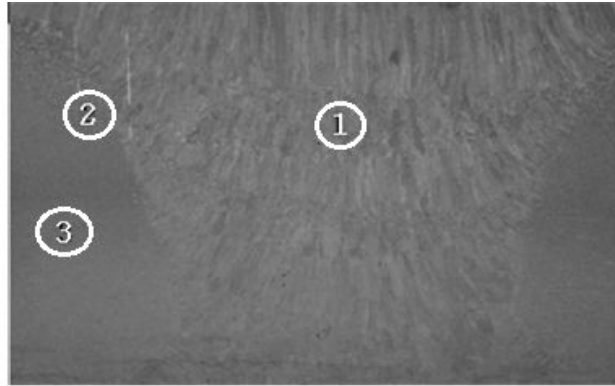
Micro section 3.

**Fig. 4-52. Micro structure of B8 welding joint**

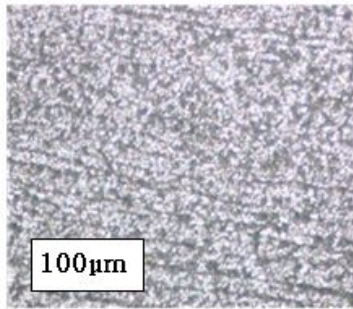
**아. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%에 비구속 용접의 20ℓ 일 때**

A8 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite조직으로 형성되었다.

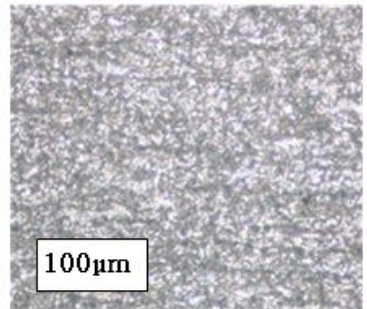
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



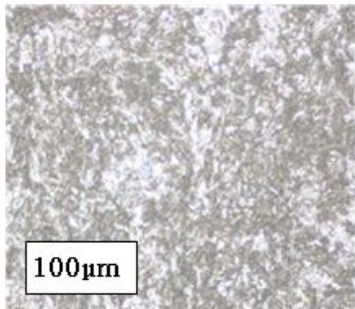
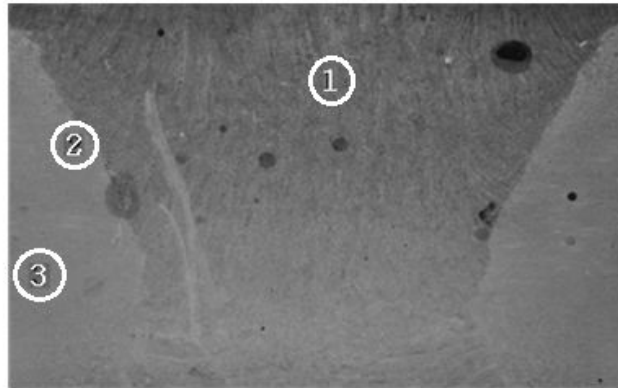
Micro section 3.

**Fig. 4-53. Micro structure of A8 welding joint**

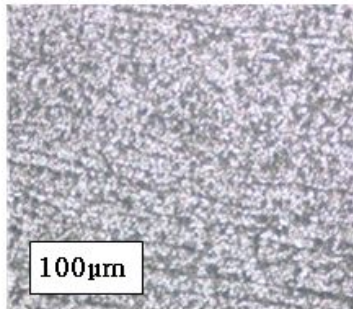
**자. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%에 비구속 용접의 25ℓ 일 때**

B9 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 Pearlite조직으로 형성되었다.

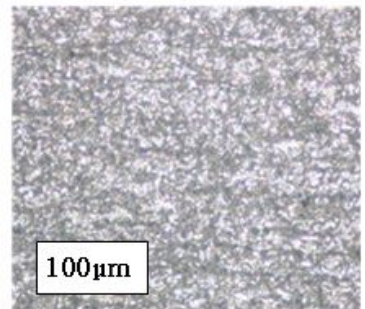
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

Fig. 4-54. Micro structure of B9 welding joint

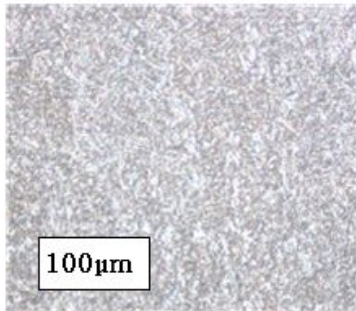
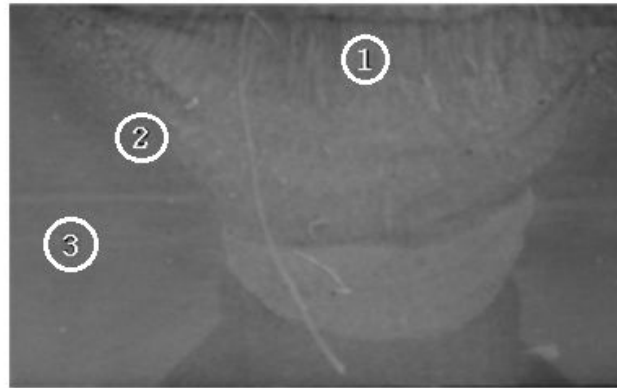
### 3. 용접이음부 개선각도에 따른 용접부 미세조직 검사

용접이음부 개선각도에 따른 미세조직 검사는 각 미세조직시험편의 용접이음부 개선각도에 따라 Table 3-6과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속 용접과 현장 구조물 작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다.

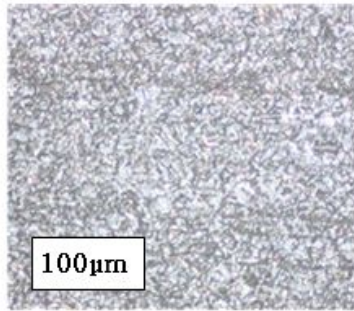
#### 가. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 용접의 40°일 때

C1 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite조직으로 형성되었다.

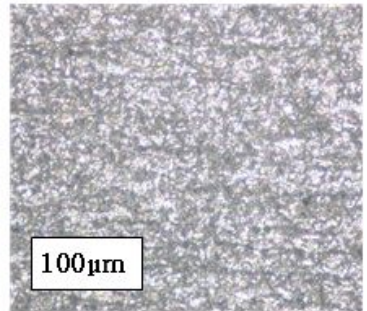
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 일부 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



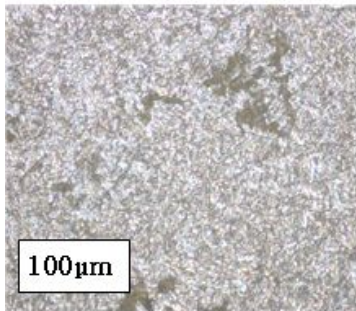
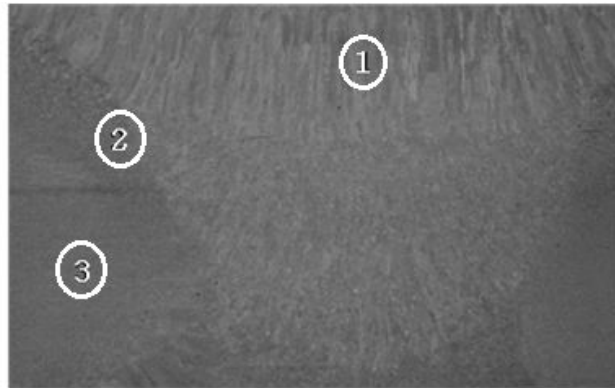
Micro section 3.

**Fig. 4-55. Micro structure of C1 welding joint**

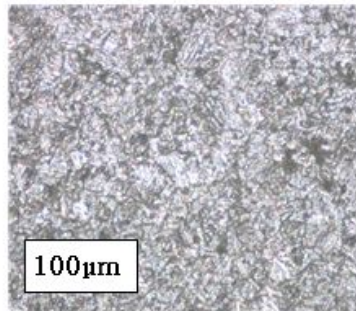
#### 나. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%, 비구속, 50°

A2 시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 얼룩진 검은 반점들은 Pearlite조직으로 형성되어 있었다.

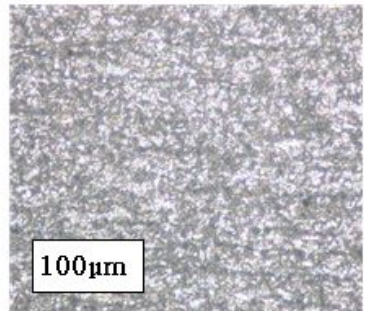
경계부에서는 용접부 미세조직을 살펴보면, 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 드문드문 분포되어 있는 얼룩진 검은 반점들은 Pearlite조직으로 형성되어 있는 것을 알 수가 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



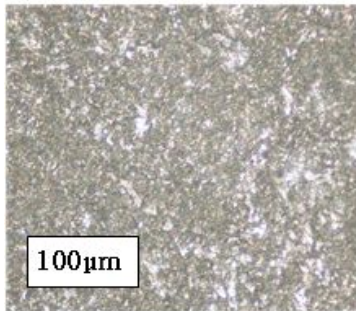
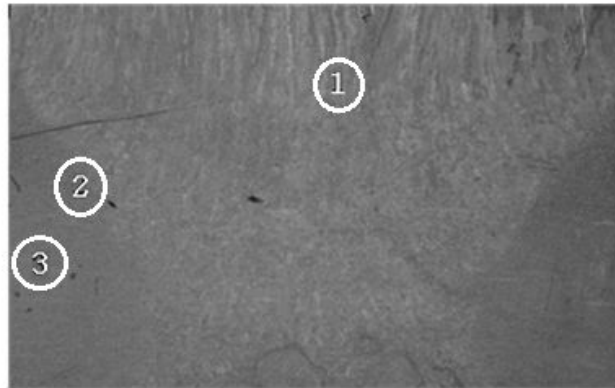
Micro section 3.

Fig. 4-56. Micro structure of A2 welding joint

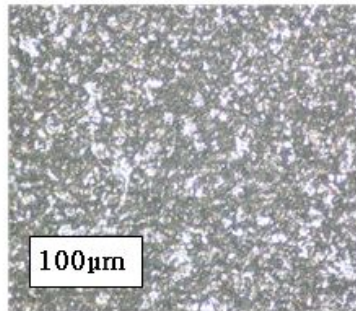
#### 다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 용접의 60°일 때

C2 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 흰점은 구상 탄화물이 분포된 조직으로 형성되었다.

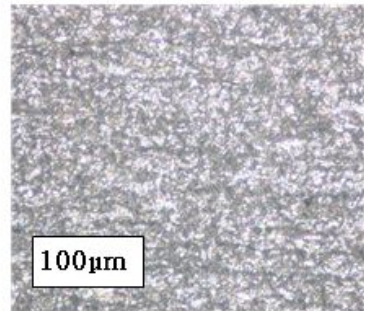
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Pearlite 위에 일부 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

**Fig. 4-57. Micro structure of C2 welding joint**

#### 라. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 40°일 때

C3 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 미세한 Pearlite 위에 일부 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

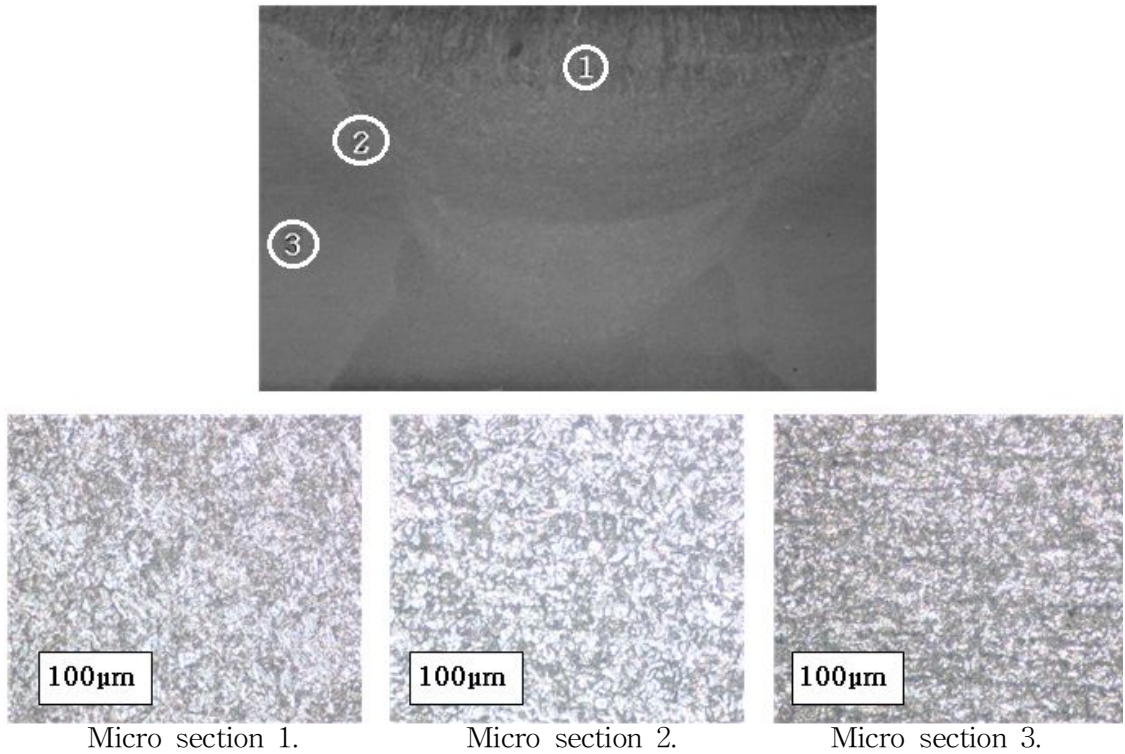


Fig. 4-58. Micro structure of C3 welding joint

마. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 50°일 때

A5 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 일부 적은 반점 흑색은 Pearlite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



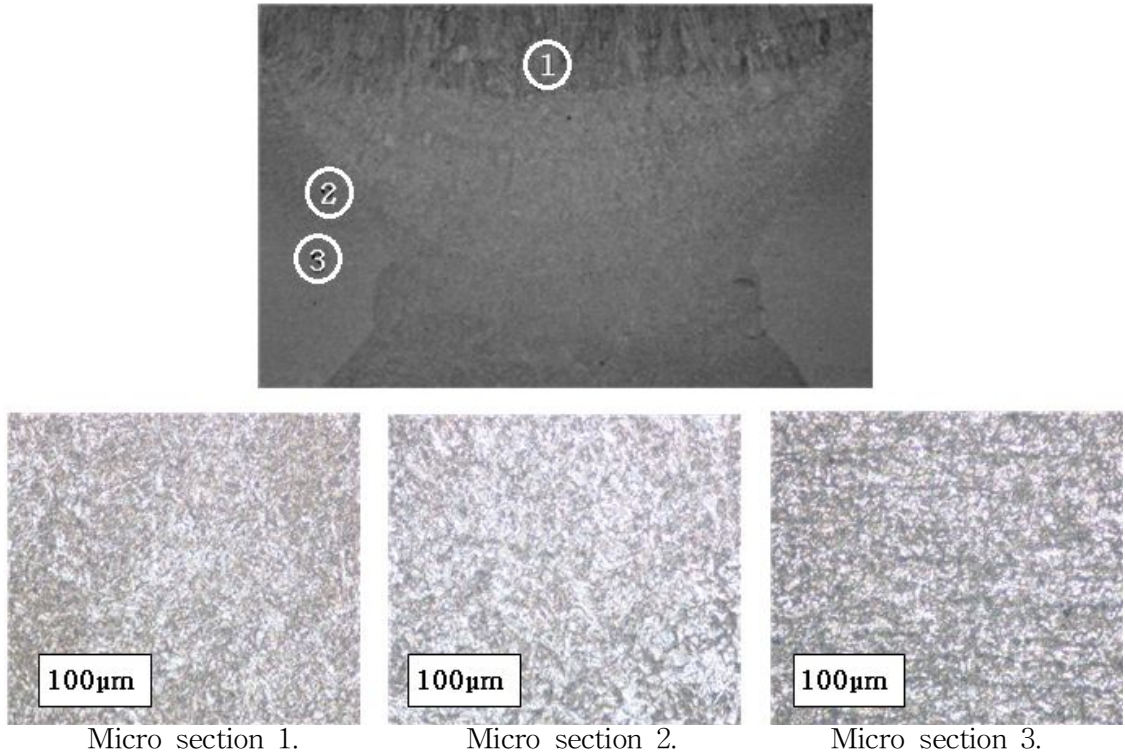
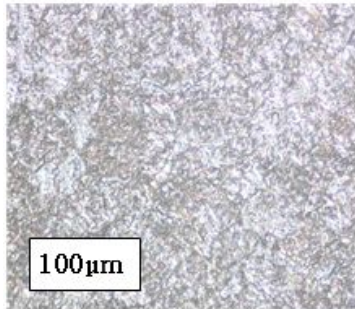
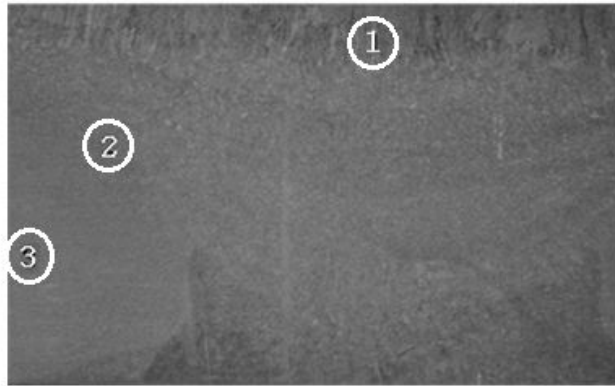


Fig. 4-59. Micro structure of A5 welding joint

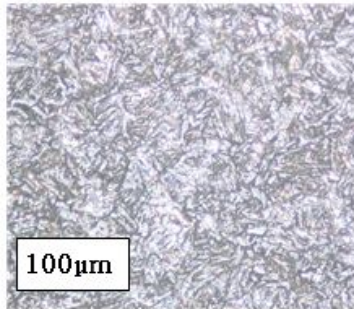
**바. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 60°일 때**

C4 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite조직으로 형성되었다.

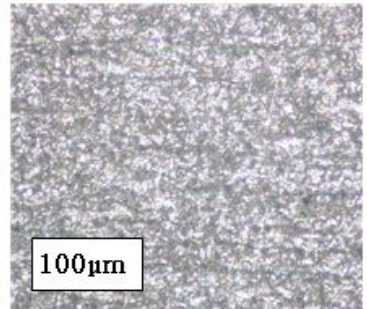
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



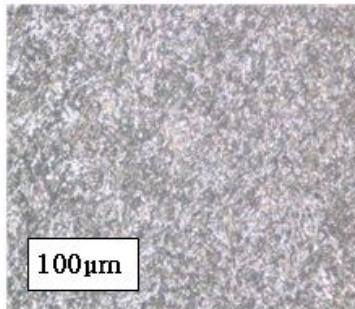
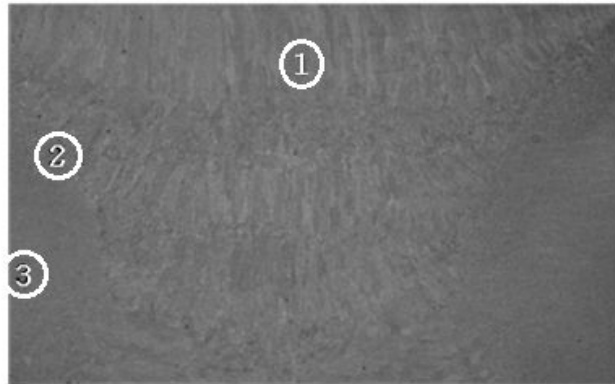
Micro section 3.

**Fig. 4-60. Micro structure of C4 welding joint**

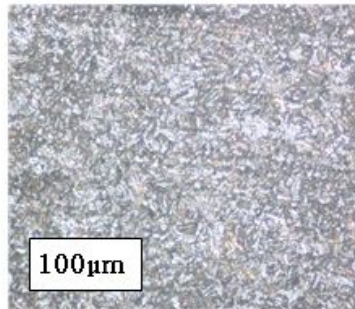
**사. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80%에 비구속 용접의 40°일 때**

C5 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite 조직으로 형성되었다.

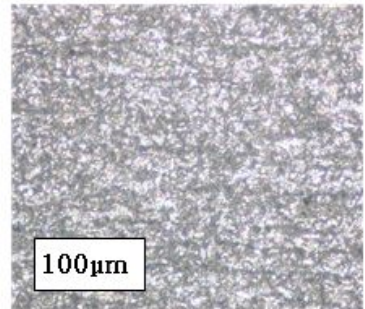
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Pearlite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



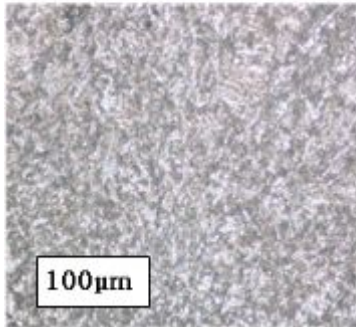
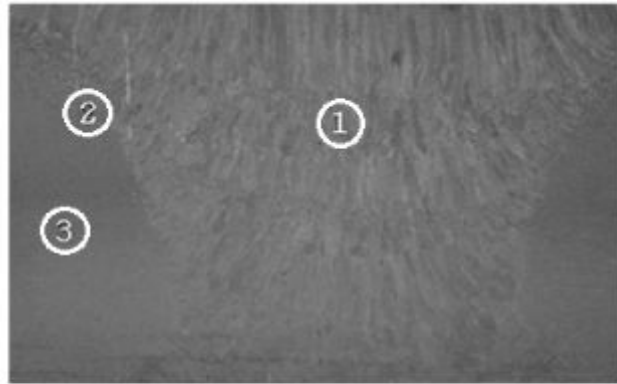
Micro section 3.

Fig. 4-61. Micro structure of C5 welding joint

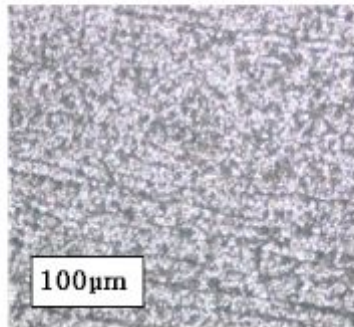
**아. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%에 비구속 용접의 50°일 때**

A8 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite 조직으로 형성되었다.

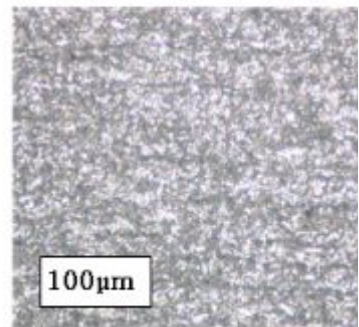
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

**Fig. 4-62. Micro structure of A8 welding joint**

**자. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%에 비구속 용접의 60°일 때**

A8 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 Pearlite 조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 일부 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

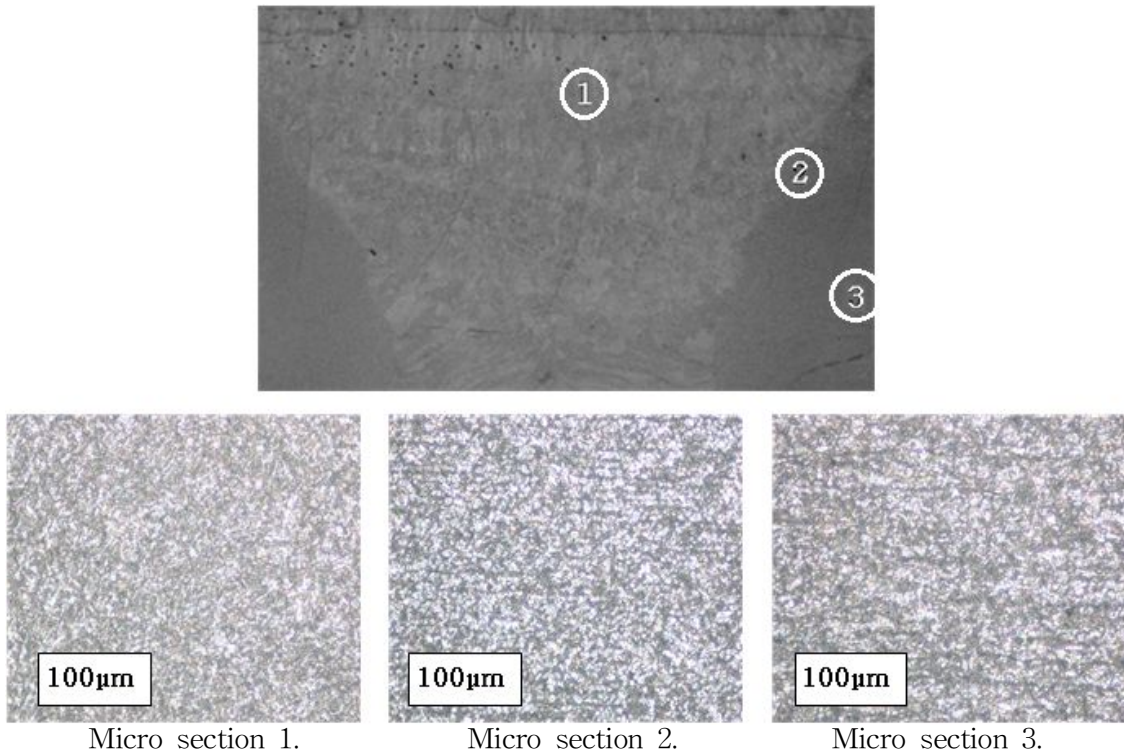


Fig. 4-63. Micro structure of C6 welding joint

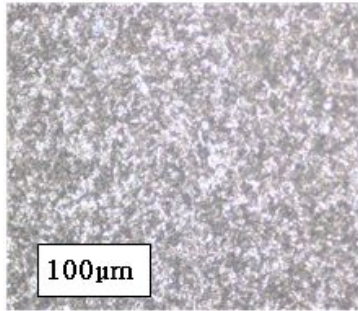
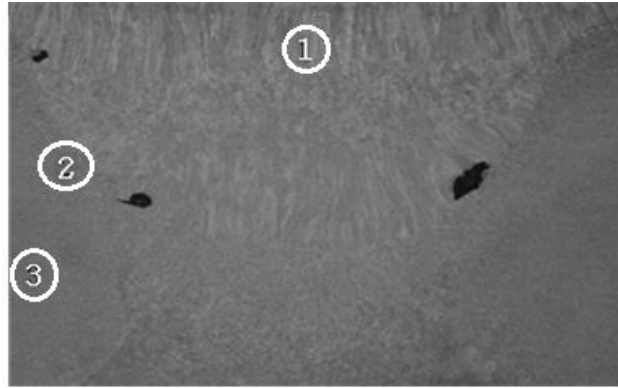
#### 4 용접이음부 루트간격에 용접부 미세조직검사

용접이음부 루트간격에 따른 용접부 미세조직검사는 각 미세조직시험편의 용접이음부 루트간격에 따라 3mm, 5mm로 분류하여 Table 3-7과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속 용접과 현장 구조물작업과 같이 구속시킨 상태에서의 구속용접 방법을 실시하여 용접을 진행하였다<sup>56,57)</sup>.

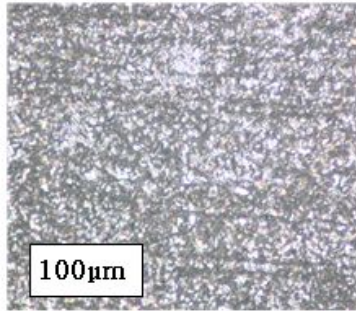
##### 가. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 루트 간격 3mm일 때

D1 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 Pearlite 조직으로 형성되어 있는 것을 알 수가 있다.

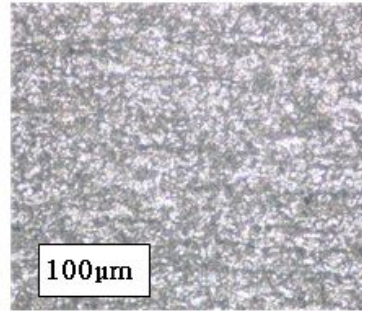
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



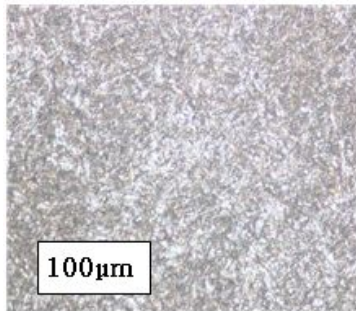
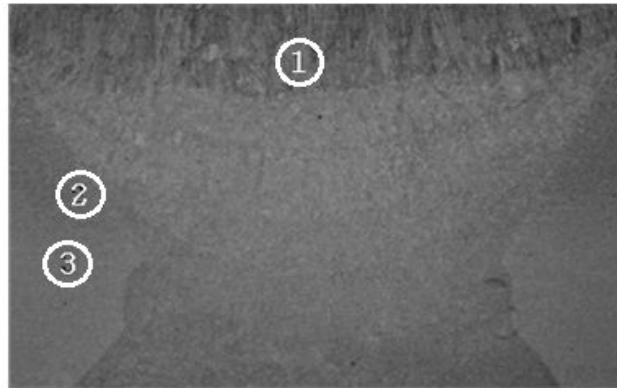
Micro section 3.

**Fig. 4-64. Micro structure of D1 welding joint**

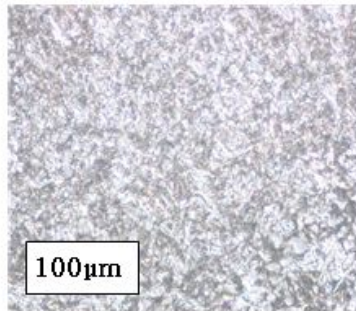
**나. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 구속용접의 루트 간격 5mm일 때**

A5 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite 조직으로 형성되었다.

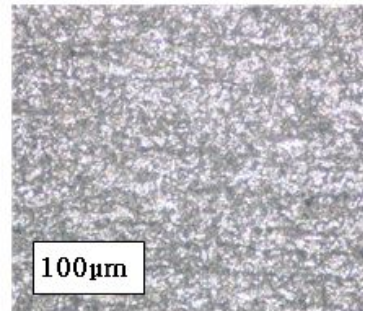
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 일부 적은 반점 흑색은 Pearlite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

Fig. 4-65. Micro structure of A5 welding joint

**다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 용접의 루트 간격 3mm일 때**

D3 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 Pearlite 조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 일부 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

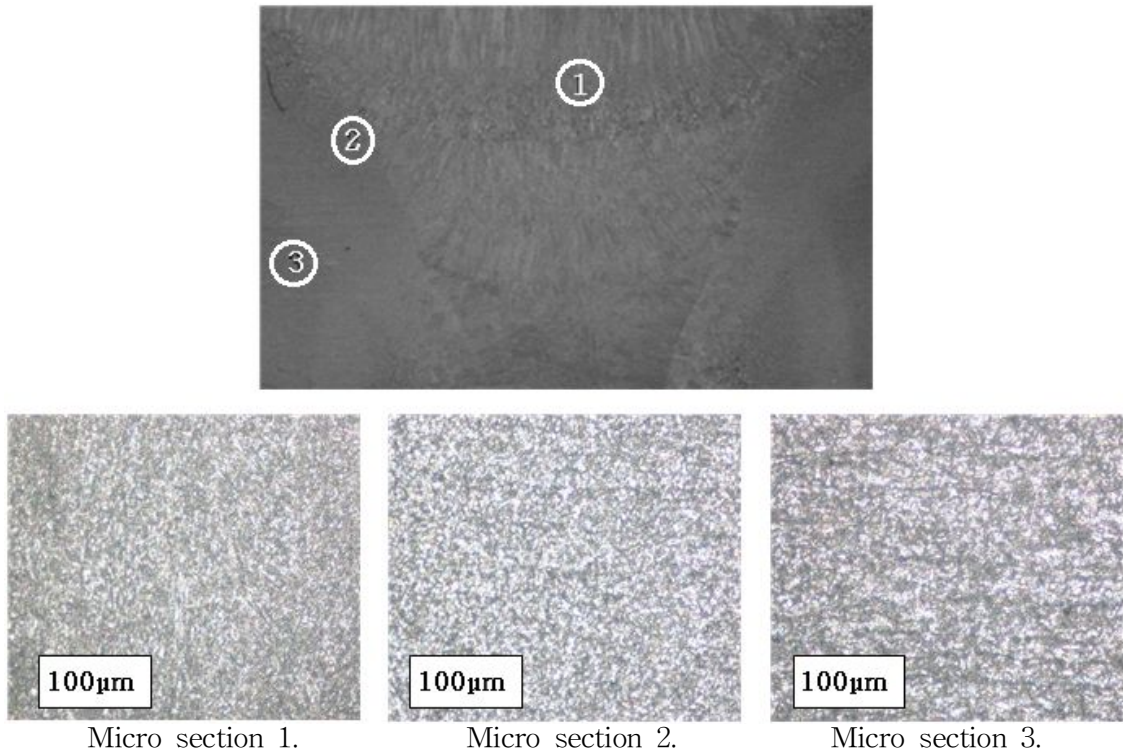


Fig. 4-66. Micro structure of D3 welding joint

**라. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 비구속 용접의 루트 간격 5mm일 때**

A8 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Pearlite 조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



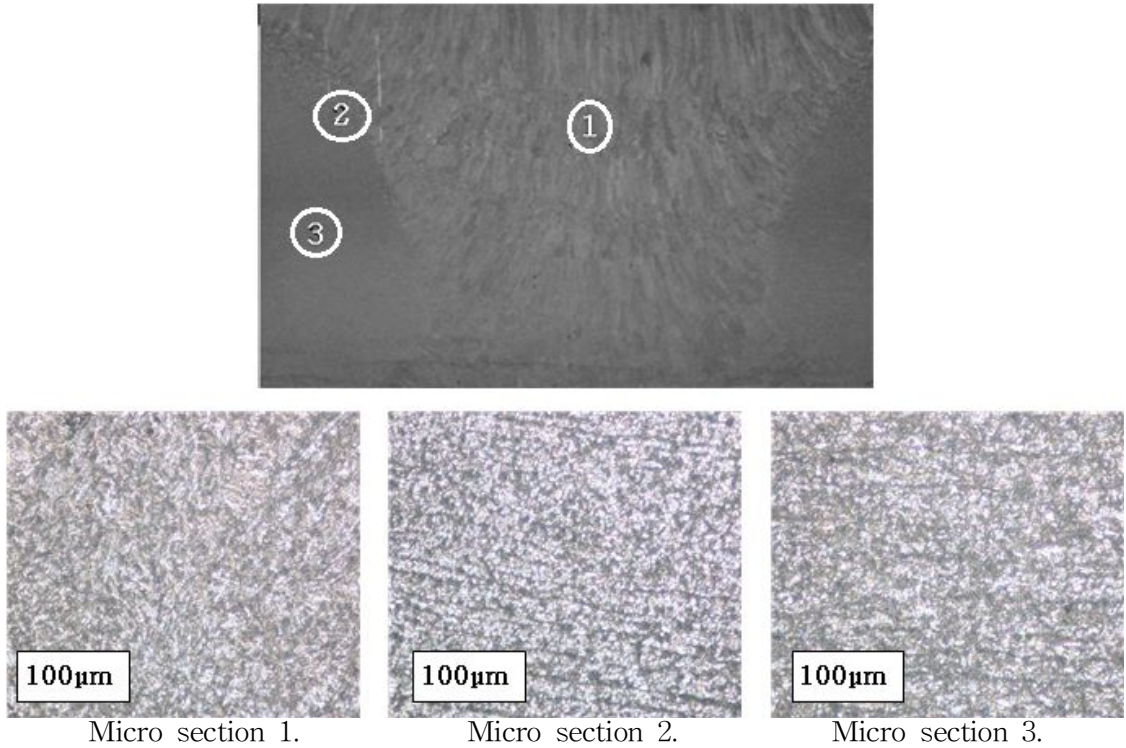


Fig. 4-67. Micro structure of A8 welding joint

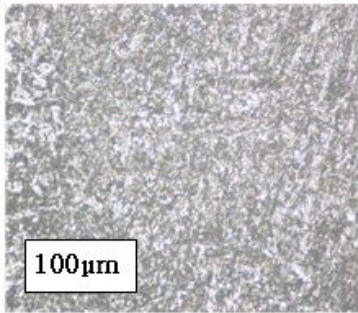
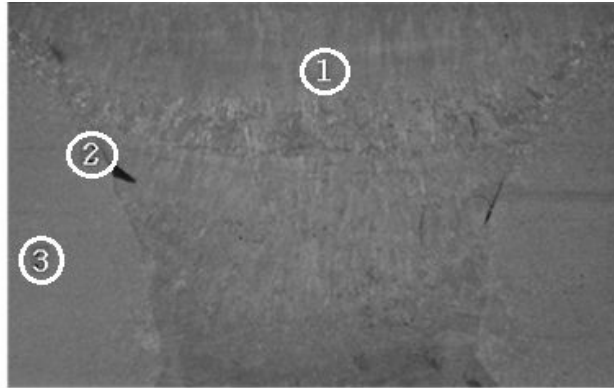
## 5. 용접부의 혼합가스 비율에 따른 용접부 미세조직검사

용접부의 혼합가스 비율에 따른 용접부 미세조직 검사는 각 미세조직 시험편에 CO<sub>2</sub> 10% + Ar9 0%, CO<sub>2</sub> 20% + Ar8 0%, CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%의 혼합가스 비율에 따라 보호가스로 사용하여 Table 3-8과 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접 방법으로 실시하여 용접을 진행하였다.

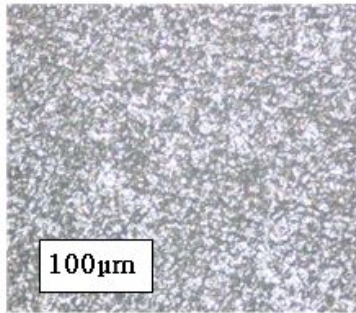
### 가. 보호가스 CO<sub>2</sub> 10% + Ar 90%일 때

E1 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 Martensite 위에 Bainite 조직이 형성되었다.

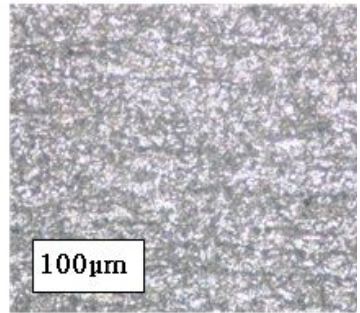
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Pearlite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



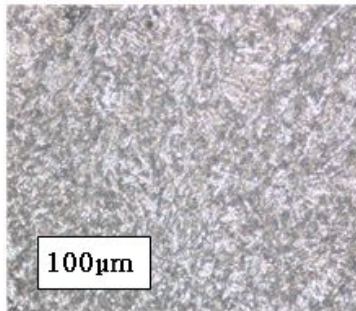
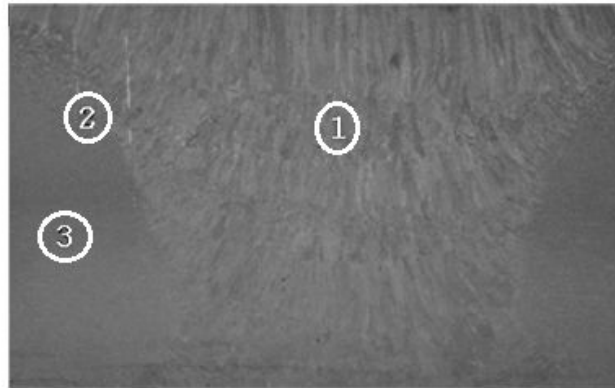
Micro section 3.

Fig. 4-68. Micro structure of E1 welding joint

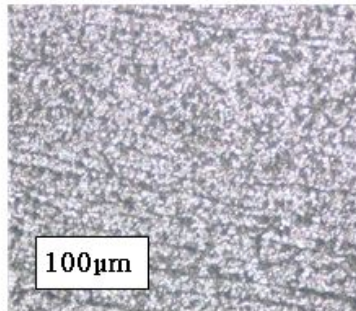
#### 나. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%일 때

A8 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 Pearlite 조직으로 형성되었다.

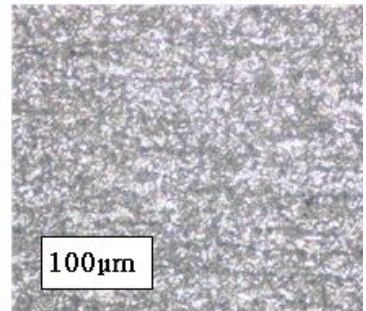
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

**Fig. 4-69. Micro structure of A8 welding joint**

#### 다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%일 때

E3 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 미세한 Martensite 위에 일부 Pearlite 조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Pearlite 위에 일부 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

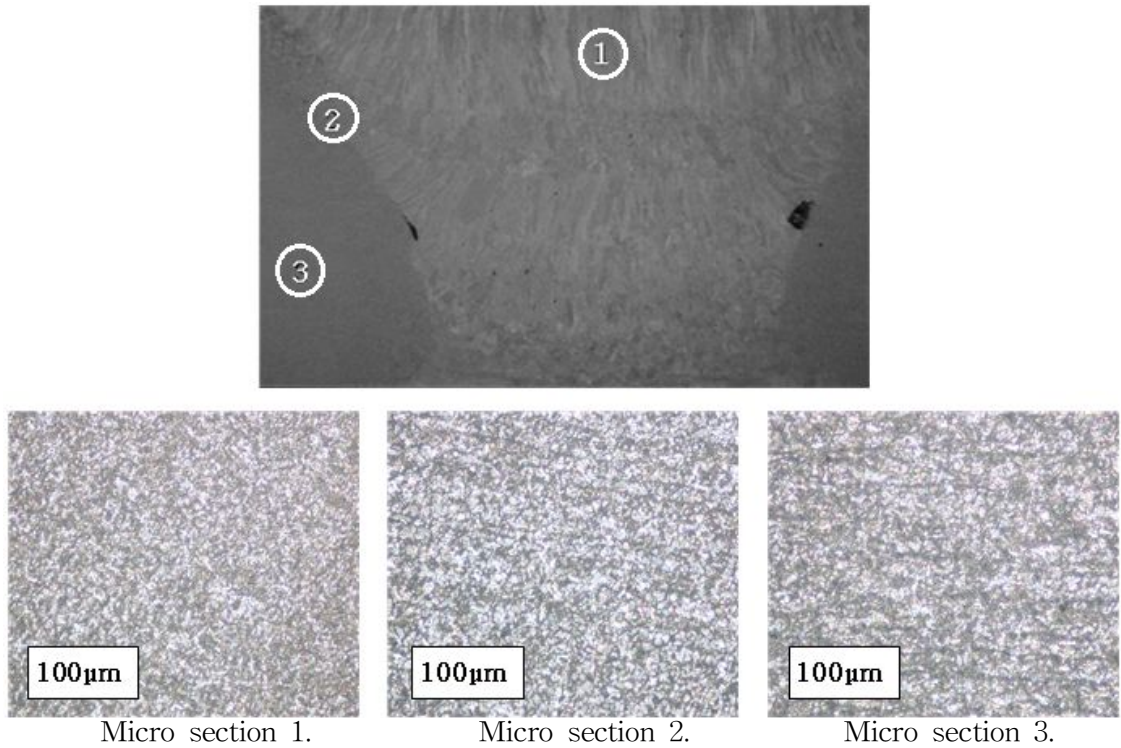


Fig. 4-70. Micro structure of E3 welding joint

## 6. 용접이음부의 예열 유무에 따른 용접부 미세조직 검사

용접이음부의 예열 유무에 따른 용접부 미세조직 검사는 각 미세조직시험편에 160℃ 예열의 유무에 따라 Table 3-9와 같이 구속하지 않는 상태에서의 비구속용접 방법으로 실시하여 용접을 진행하였다.

### 가. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 5mm의 개선탄 50°로 비예열일 때

F1 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 미세한 Martensite 조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Pearlite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

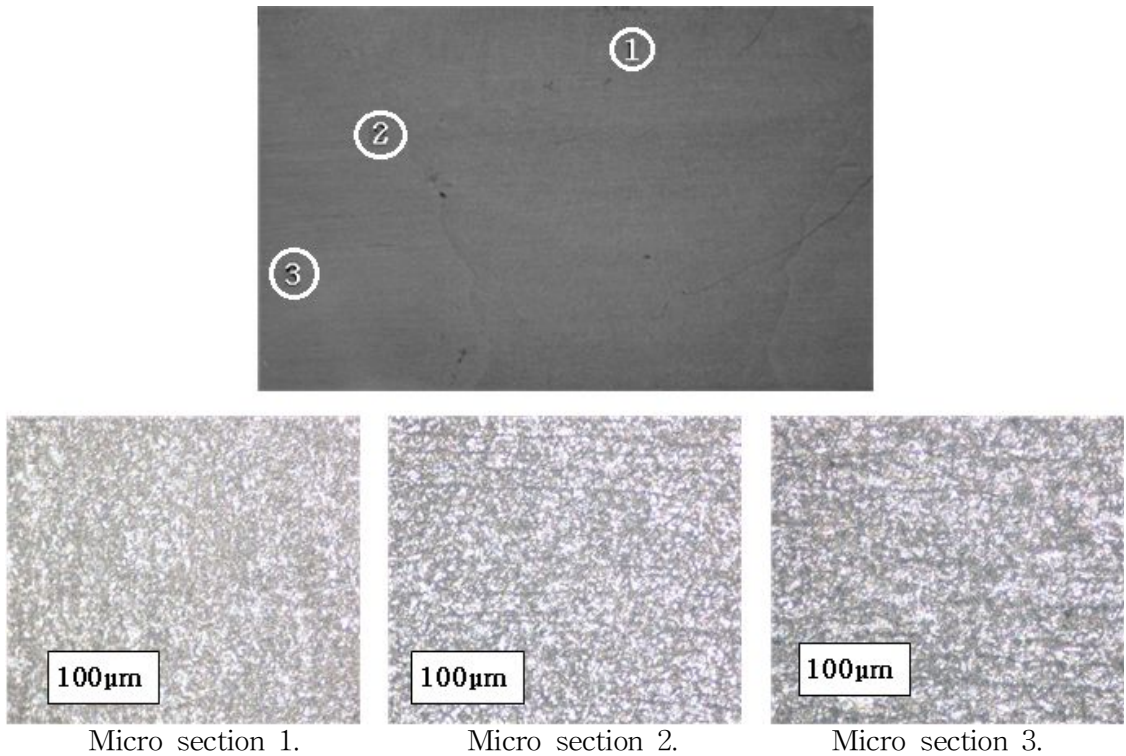
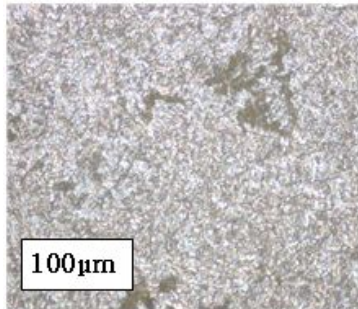
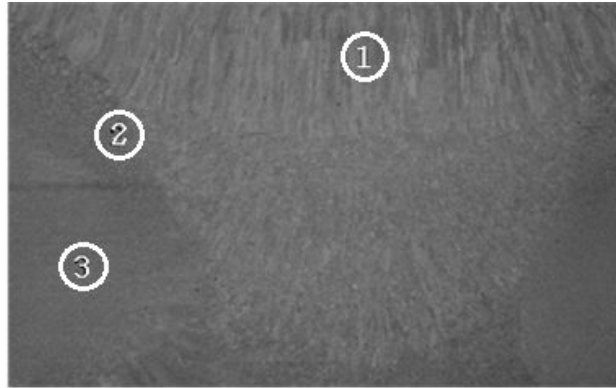


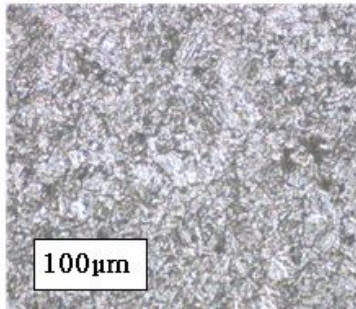
Fig. 4-71. Micro structure of F1 welding joint

나. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 5mm의 개섵각 50°로 예열일 때 A2 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 얼룩진 검은 반점들은 Pearlite 조직으로 형성되었다.

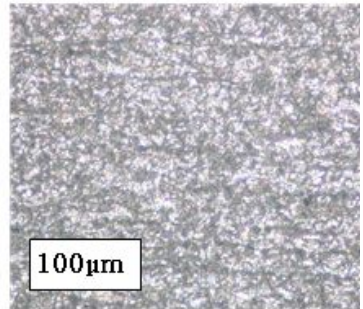
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite이고, 드문드문 분포되어 있는 얼룩진 검은 반점들은 Pearlite 조직으로 형성되어 있는 것을 알 수가 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

Fig. 4-72. Micro structure of A2 welding joint

다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 3mm의 개선각 50°로 비예열일 때

F2 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 미세한 Martensite 조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Pearlite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

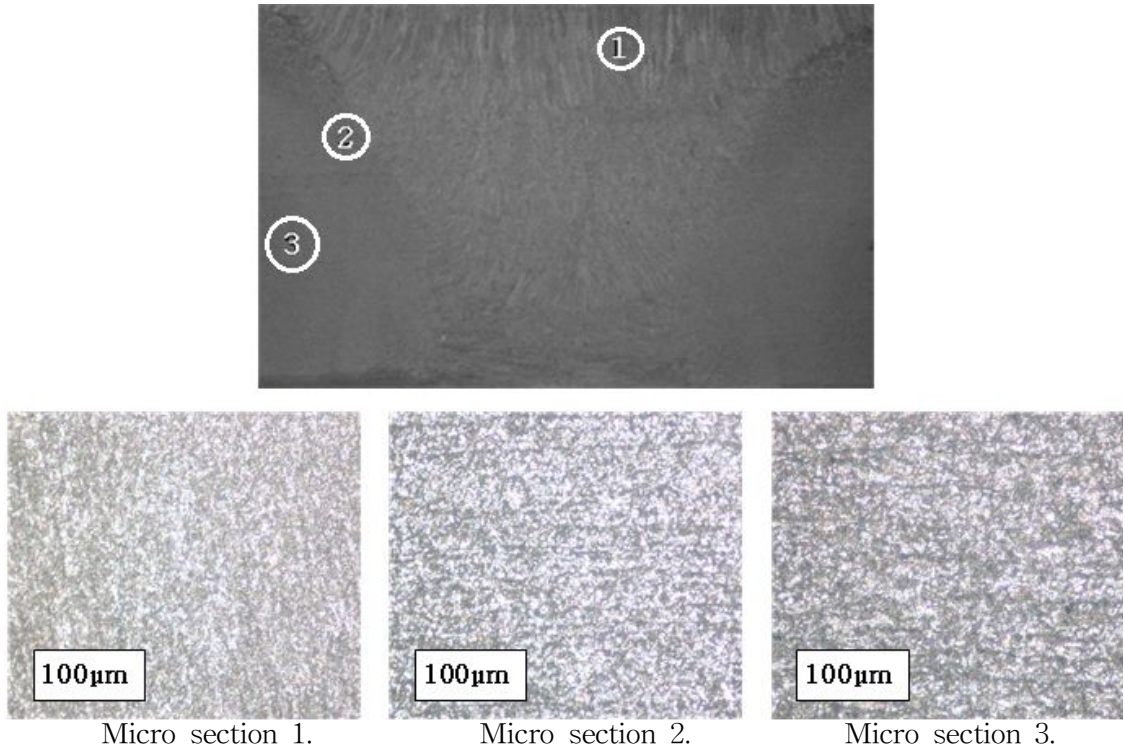
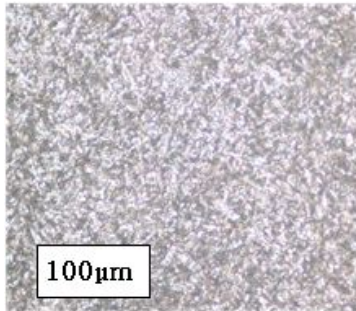
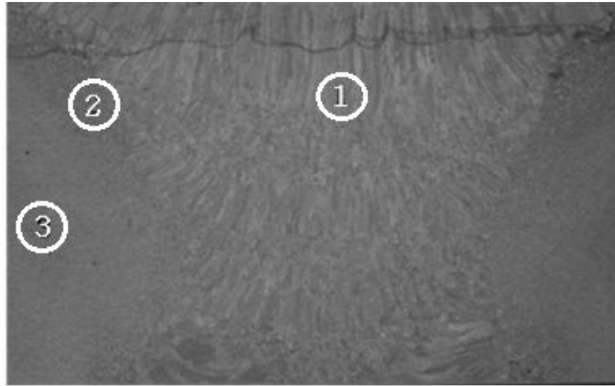


Fig. 4-73. Micro structure of F2 welding joint

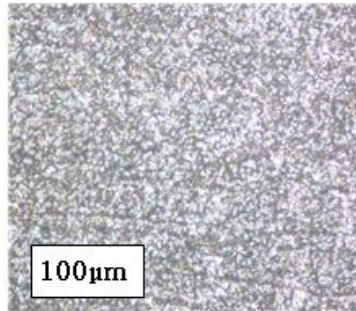
라. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 5mm의 개섵각 40°로 비예열일 때

F4 용접시험편 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 미세한 Martensite 조직으로 형성되었다.

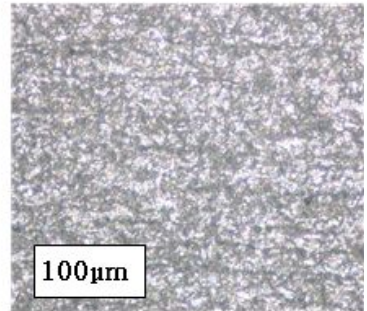
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Pearlite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



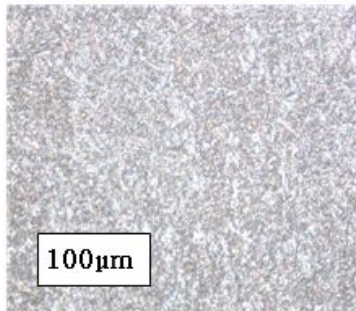
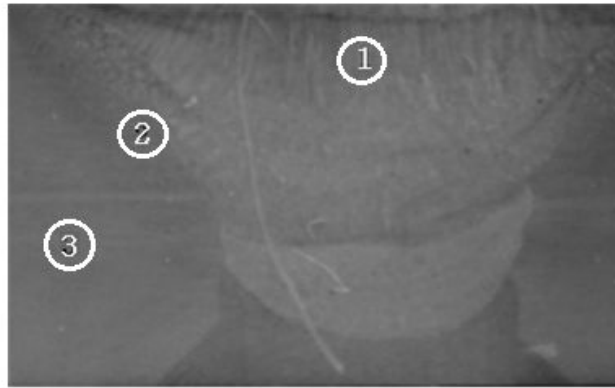
Micro section 3.

**Fig. 4-74. Micro structure of F4 welding joint**

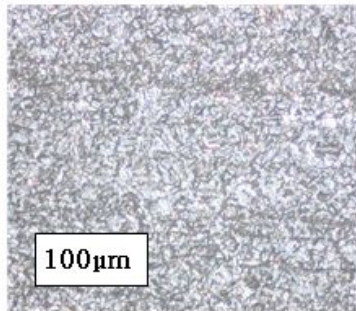
마. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 루트 간격 5mm의 개섵각 40°로 예열일 때 C1 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 미세한 흑색은 미세한 Martensite 조직으로 형성되었다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 일부 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

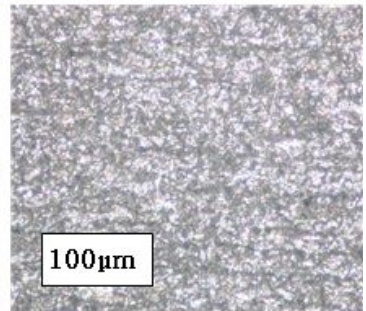




Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

Fig. 4-75 Micro structure of C1 welding joint

바. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%에 루트 간격 5mm의 개선각 50°로 비예열 일 때

F5 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 Martensite 위에 Pearlite 조직으로 형성되어 있는 것을 알 수가 있다.

경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Pearlite 위에 일부 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.

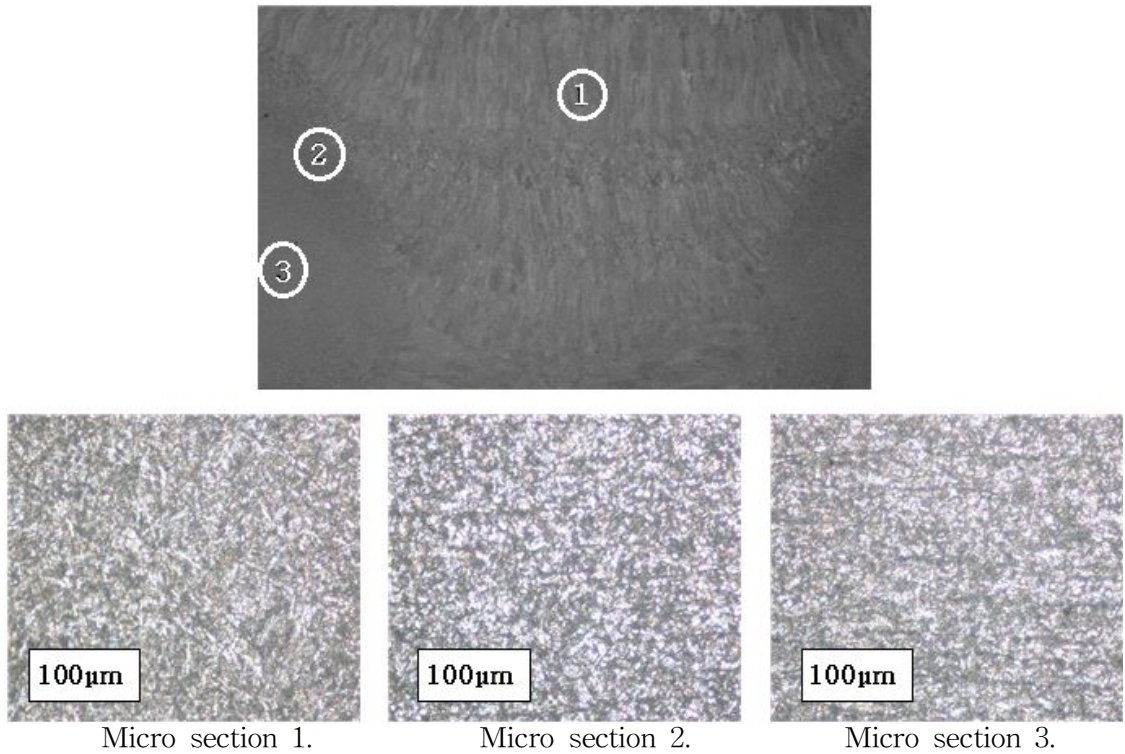
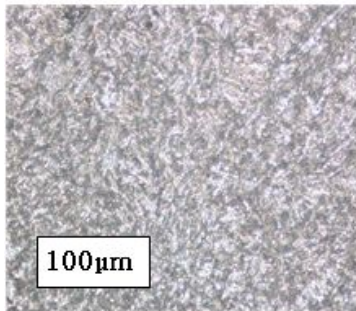
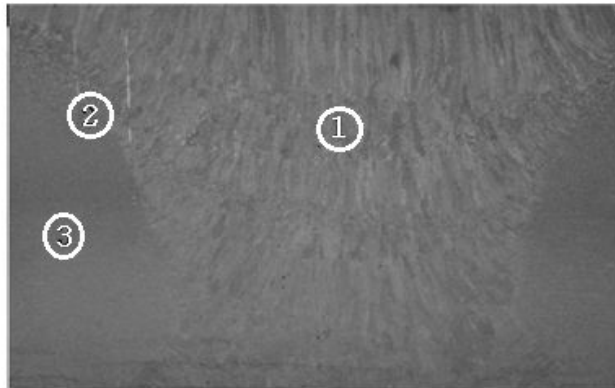


Fig. 4-76 Micro structure of F5 welding joint

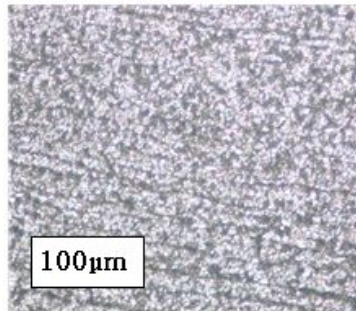
사. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%에 루트 간격 5mm의 개선각 50°로  
예열일 때

A8 용접시험편의 용접부 미세조직을 살펴보면, 용착부의 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 흑색은 Pearlite 조직으로 형성되었다.

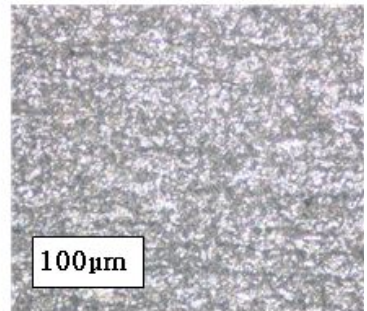
경계부에서는 백색 바탕은 Ferrite이고, 검고 가느다란 것은 Ferrite 입계이며, 모재 쪽에 흑색 바탕은 Martensite 위에 Bainite 조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있다.



Micro section 1.



Micro section 2.



Micro section 3.

**Fig. 4-77. Micro structure of A8 welding joint**

## 제6절 용접부의 방사선검사 특성

본 실험에서는 ATOS 80 고장력강의 용접조건에 따른 용접부의 방사선검사를 하기 위하여 Table 4-1과 같이 각각 용접시험편을 분류하였다.

용접부의 방사선검사를 하기 위하여 용접 시험편 앞 뒤 표면을 깨끗이 세척을 한 뒤, X선 촬영대 위에 용접시험편을 올려놓고 X선 투과 촬영기로 촬영하였다.

방사선 촬영기 형식은 RF-250EGM이며, 노출은 210kV이고, 노출시간은 48초 이다. 제작은 Rigaku Japan으로 피트, 언더 컷, 오버랩 등 용접표면 결함과 기공, 슬래그 혼입, 용접균열, 융합불량, 용입 부족 등 용접내면 결함을 검사하였다<sup>58)</sup>.

시험범위의 사진농도는 결함을 제외하고 2.0~4.0으로 하며, KS B 0845 강 용접부의 방사선투과시험 방법 및 투과사진의 등급분류 방법에 따라 2류까지 합격으로 하며 융합불량, 용입불량은 결함 등급에 관계없이 4급 불합격 처리한다<sup>59,60)</sup>.

철강의 방사선 투과시험은 KS B 0845(1976년) 규정에서는 결함을 제1종은 둥근 것, 기포 등으로 두께 10~25mm의 1급은 2점, 2급은 6점, 3급은 12점, 그 이상은 4급이다. 제2종은 슬래그 섞임, 용입부족, 융합불량으로 두께 10~25mm의 1급은 3mm이하, 2급은 4mm이하, 3급은 6mm이하, 그 이상은 4급이다. 제3종은 균열로 모두 4급으로 된다.

### 1. 용접이음의 패스 수에 따른 용접부의 방사선검사

판 두께가 12mm인 ATOS 80 고장력 강판을 용접패스의 용접조건에 따른 용접결함을 평가하기 위하여 용접이음의 패스 수에 따라 4, 5패스로 분류하여 실딩가스가 CO<sub>2</sub> 100%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 A2, A3 라 정의하였으며, 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 A8, A9라 정의하였다. 실딩가스의 양은 20 ℓ/min, 용접전류 200A, 아크전압 24V, 맞대기 이음 개선각을 25°, 용접진행속도는 14.4cm/min, 용접하기 전 모재 균열을 방지하기 위하여 예열온도를 160℃로 맞대기이음의 뒷담재는 용접용 세라믹백재를 사용하여 용접한 후 X선 촬영한 결과 Figs. 4-78~102로 나타내었다.

#### 가. CO<sub>2</sub>가스 100%일 때 이음 패스 수에 따른 맞대기이음

Fig. 4-78은 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 용접전류 200A, 용접 패스 수를 5패스로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층비드에서 아주 작은 블로우 홀 4점 존재하여 2급 정도로 알 수 있으며, 용접 패스 수에 따른 용접방법에 의한 X선 결과 용접 패스 수가 많은 5패스보다 용접결함이 적은 것을 알 수

가 있다.

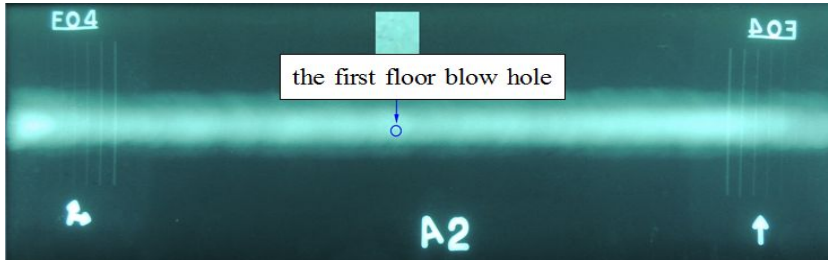


Fig. 4-78. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO<sub>2</sub> 100%

Fig. 4-79는 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 용접전류 200A, 용접 패스 수를 5패스로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층 비드에서 적은 블로우 4개 정도로 제1종 2급 정도이며, 2층 비드에서는 6mm 정도 슬래그 혼입되어 3급 정도이다. 용접 패스 수에 따른 용접방법에 의한 X선 결과 용접 패스 수가 많은 5패스를 한 용접부가 용접결함이 많은 것을 알 수가 있다. 이것은 용접패스 수가 많아짐에 따른 부하와 함께 용접부에 결함이 생길 수 있는 작업요소가 많기 때문이라 생각하며, 또한 용접슬래그 제거를 완전히 못하였기 때문에 발생할 수 있다고 사료된다.

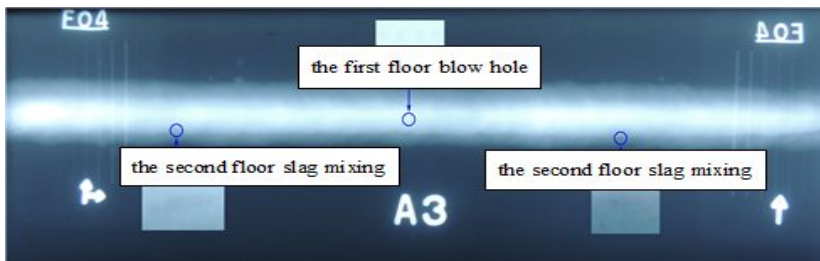


Fig. 4-79. X-ray radiographic test film of welding specimen to 5pass at CO<sub>2</sub> 100%

#### 나. CO<sub>2</sub> 20%와 Ar 80%일 때 이음 패스 수에 따른 맞대기이음

Fig. 4-80은 보호가스 CO<sub>2</sub> 20%와 Ar 80%의 혼합가스에 용접전류 200A, 용접 패스 수를 4패스로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 다른 용접조건으로 용접한 것보다 용접결함이 전혀 없는 무결함으로 나타낸

것으로 알 수 있는데, 이는 아르곤가스를 80% 혼합하므로 아크가 안정되고 스패터가 감소되므로 용접작업성 등 용접 품질이 향상되었기 때문이라 사료된다.

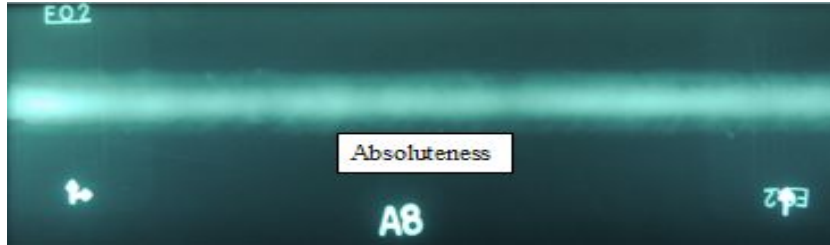


Fig. 4-80. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%

Fig. 4-81은 보호가스 CO<sub>2</sub> 20%와 Ar 80%의 혼합가스에 용접 패스 수를 5패스로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 2층에서 25mm 이상 슬래그 혼입되고, 긴 길이의 융합불량으로 불합격한 것을 알 수 있다. 용접 패스 수에 따른 용접방법에 의한 X선 결과 용접 패스 수가 많은 5패스를 한 용접부가 2층에서 슬래그 혼입과 융합 불량 등 용접결함이 많은 것을 알 수가 있다. 이것도 또한 용접패스 수가 많아짐에 따른 작업요소가 많기 때문에 용접결함이 많이 발생하리라 생각하며, 또한 용접슬래그 제거를 완전히 못하였기 때문에 발생할 수 있다고 사료된다.

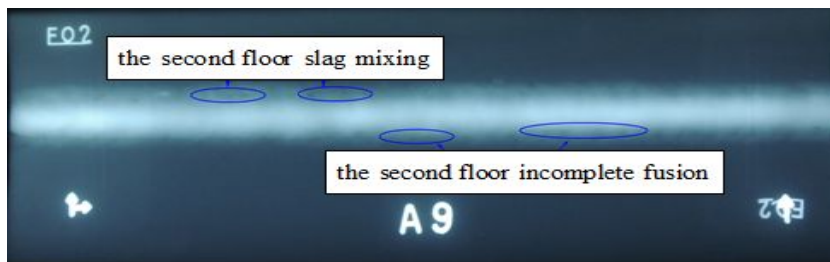


Fig. 4-81. X-ray radiographic test film of welding specimen to 5pass at CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80%

## 2. 용접이음의 보호가스량에 따른 용접부의 방사선검사

판 두께가 12mm인 ATOS 80 고장력 강재를 실딩가스량의 용접조건에 따른 용접결함을 평가하기 위하여 용접이음의 보호가스 량에 따라 15 l/min, 20 l/min, 25 l/min

로 분류하여 실딩가스가 CO<sub>2</sub>가스 100%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 B2, A2, B3 라 정의하였고, 보호가스가 CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 B8, A8, B9라 정의하였다. 용접이음의 패스는 가장 좋은 용접 패스 수인 4pass, 용접전류 200A, 아크전압 24V, 맞대기 이음 개선각을 25°, 용접 진행속도는 14.4cm/min, 용접하기 전 모재 균열을 방지하기 위하여 예열온도를 160℃로 맞대기이음의 뒷담재는 용접용 세라믹재를 사용하여 용접한 후 X선 촬영한 결과 Figs. 4-82~87로 나타내었다.

### 가. CO<sub>2</sub>가스 100%일 때 보호가스 량에 따른 맞대기이음

Fig. 4-82는 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 보호가스 량을 15 l/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층에 12점 이상의 블로우홀과 2층에서는 길게 융합불량으로 존재하여 불합격인 것을 알 수가 있다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 가스보호 량을 20 l/min으로 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 Fig. 4-83과 같이 A2와 비교하여 보면, 보호가스량이 5 l/min이 적어 용접부에 완전 실드할 수 있는 가스보호 량이 부족하여 침투하는 외부 공기를 막지 못하여 블로우홀이 발생하고, 비드가 일부가 융합되지 못하였다고 사료된다.

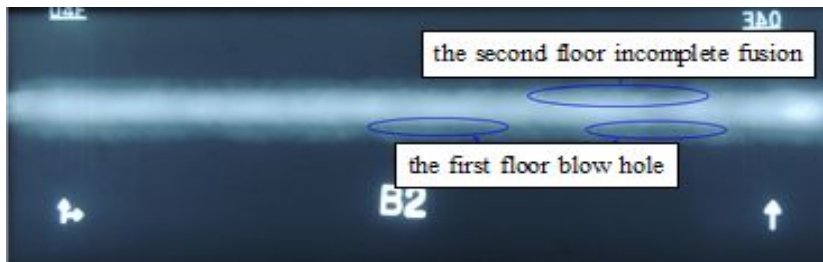


Fig. 4-82. X-ray radiographic test film of welding specimen by 4pass at CO<sub>2</sub> 100% in 15 l/min

Fig. 4-83은 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 가스보호 량을 20 l/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층 비드만 아주 작은 블로우홀 4점이 존재하여 2급 정도이며, 2층과 표면에는 아무 결함이 없으므로 용접부가 X선 검사 기준에 합격인 것을 알 수 있다. 가스보호 량을 15 l/min로 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 B2에 비교하면 본 용접조건에서는 가스보호량이 20 l/min로 용접하여 나타난 용접 결과가 매우 안정적으로 나타난 것은 가스보호 량

이 20 l/min가 적합하였기 때문이라 사료된다.

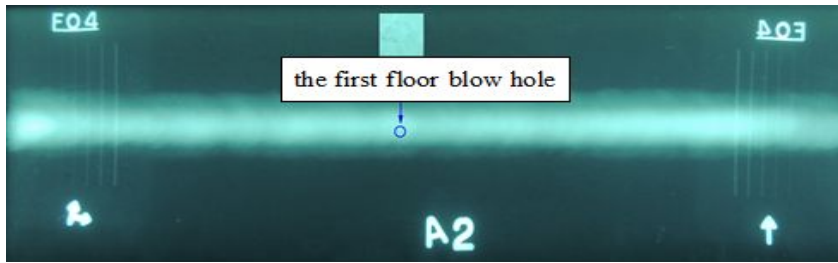


Fig. 4-83. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO<sub>2</sub> 100% in 20 l/min

Fig. 4-84는 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 가스보호량을 25 l/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층은 아무 용접결함이 나타나지 아니했으나, 2층에서는 아주 작은 언더컷과 용합불량으로 X선 검사 기준에 불합격한 것을 알 수 있다. 이것은 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 가스보호량을 20 l/min으로 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 A2와 비교하여 보면, 본 용접조건에서 가스보호량이 25 l/min로 용접한 것이 1층에서는 완전히 실딩하여 아무런 결함이 없으나 2층에서는 실딩가스가 약간의 난류 현상이 있어 용접 결함이 약간 존재하였기 때문이라 사료된다.

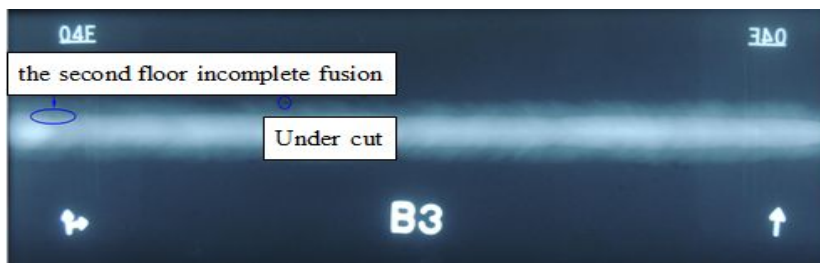


Fig. 4-84. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO<sub>2</sub> 100% in 25 l/min

#### 나. CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%일 때 보호가스량에 따른 맞대기이음

Fig. 4-85는 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%인 혼합가스의 보호가스량을 15 l/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층에 12점 이상 수많은 블로우 홀과 2층에서는 10mm 이상 슬래그 혼입으로 용접결함



이 존재하여 X선 검사 기준에 불합격인 것을 알 수 있다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 가스보호 량을 20 l/min으로 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 A8과 비교하여 보면, 보호가스량이 5 l/min이 적어 용접부에 완전 실드할 수 있는 가스보호 량이 부족하여 침투하는 외부 공기를 막지 못하여 블로우 홀이 많이 발생하고, 비드가 2층에서는 슬래그 혼입이 되었다고 사료된다.

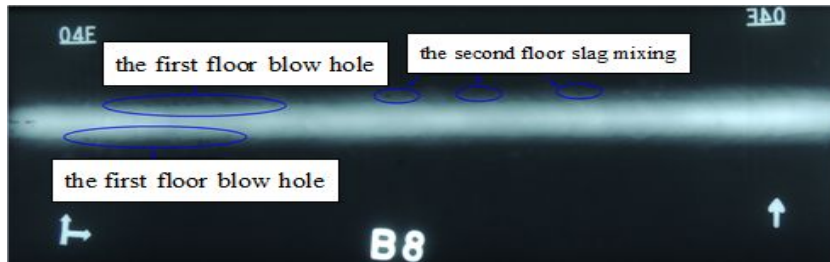


Fig. 4-85. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% in 15 l/min

Fig. 4-86은 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80%인 혼합가스의 가스보호 량을 20 l/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타난 용접결함이 다른 용접조건으로 용접한 것보다 용접결함이 전혀 없는 무결함으로 나타낸 것으로 알 수 있는데, 이는 CO<sub>2</sub> 20%에 아르곤가스를 80% 혼합하므로 아크가 안정되고 스파터가 감소되므로 용접작업성 등 용접 품질이 향상되었기 때문이라 사료된다.

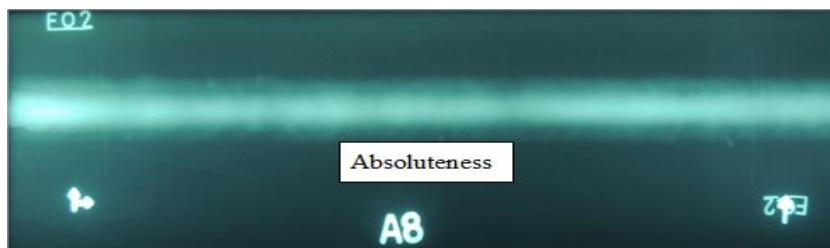


Fig. 4-86. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO<sub>2</sub> 100% +Ar80% in 20 l/min

Fig. 4-87은 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%인 혼합가스의 보호가스 량을 25 l/min로 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함이 나타낸 것으로서, 1층에 12점 이상 수많은 블로우 홀과 2층에서는 많은 용착 불량과 슬래그 혼입으로 용

접결함이 존재하여 X선 검사 기준에 불합격인 것을 알 수 있다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 가스보호량을 20 l/min으로 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 A8과 비교하여 보면, 보호가스량이 5 l/min이 많아 용접부에 난류 현상으로 오히려 아크 흐름과 용착 금속의 유동성을 방해하였기 때문에 수많은 용접결함이 발생하였다고 사료된다.

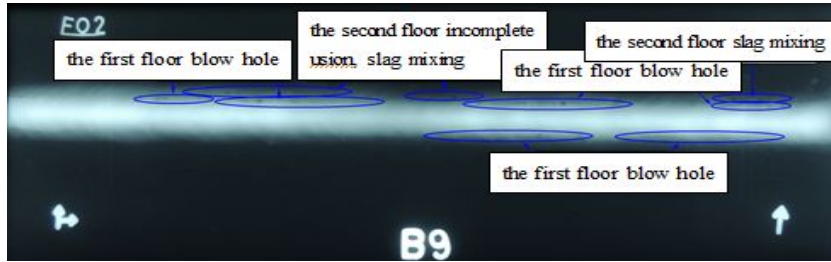


Fig. 4-87. X-ray radiographic test film of welding specimen to 4pass at CO<sub>2</sub> 100% +Ar 80% in 25 l/min

### 3. 용접이음의 개선 각도에 따른 용접부의 방사선검사

관 두께가 12mm인 ATOS 80 고장력 강재를 용접시험편의 개선각도의 용접조건에 따른 용접결함을 평가하기 위하여 맞대기 이음부의 개선 각도에 따라 40°, 50°, 60°로 분류하여<sup>61)</sup> 실딩가스가 CO<sub>2</sub>가스 100%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 C1, A2, C2라 정의하였고, 보호가스가 CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 C5, A8, C6라 정의하였다. 용접이음의 패스는 가장 좋은 용접 패스 수인 4pass, 용접전류 200A, 아크전압 24V, 용접 진행속도는 14.4cm/min 등 용접조건을 주었고, 용접하기 전 모재 균열을 방지하기 위하여 예열온도를 160℃로 하고, 맞대기이음의 뒷템재는 용접용 세라믹재를 사용하여 용접한 후 X선 촬영한 결과 Figs. 4-88~93로 나타내었다.

#### 가. 보호가스 CO<sub>2</sub>가스 100%일 때 개선 각도에 따른 맞대기이음

Fig. 4-88은 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 개선각도 40°로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층에서는 결함이 없이 나타났으나, 2층에서는 길게 3군데 융합불량이 나타났으며, 또한 길게 3군데 슬래그 혼입된 것으로 존재하여 불합격인 것을 알 수가 있다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 개선각도 40°로 맞대기이음 용접한 후 X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 A2와 비교하여 보면, 용접이음부의 개선각도가 10°정도 작아 2층 용접시 슬래그가 잘 빠져 아오지 못하

여 슬래그 혼입이 되었고, 또한 같은 용접전류에서는 개선각도가 적을 때는 많은 용접 열량이 필요로 하는데, 같은 용접전류로 사용하여 용접입열이 적어 일부가 융합불량이 발생되고, 슬래그 혼입이 된 것으로 사료된다.

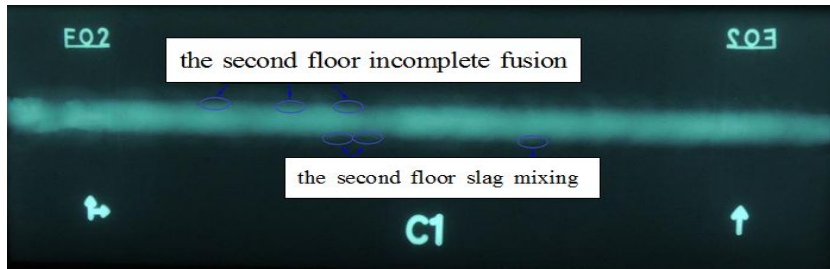


Fig. 4-88. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 100% welding specimen by opening angle 40°

Fig. 4-89는 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 개선각도 50°로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층 비드만 아주 작은 블로우 홀 4점이 존재하여 2급 정도이며, 2층과 표면에는 아무 결함이 없으므로 용접부가 X선 검사 기준에 합격인 것을 알 수 있다. 이것은 용접이음부의 V형 개선각도가 너무 넓지도 않고, 좁지도 않은 적당한 개선각도이기 때문이라 사료된다.

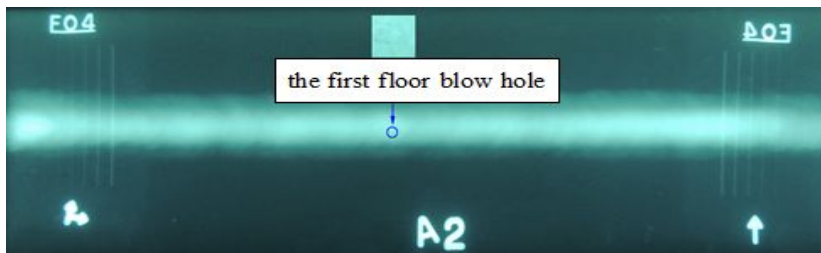


Fig. 4-89. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 100% welding specimen by opening angle 50°

Fig. 4-90은 보호가스 CO<sub>2</sub> 100%에 개선각도 60°로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층은 기공 8점이 내포되어 있고, 2층에서는 길고 짧은 슬래그 혼입되어 존재하므로 X선 검사 기준에 불합격인 것을 알 수 있다. 이것은 용접이음부의 개선각도 40°보다 훨씬 큰 60°로 2층 용접시 1층을 일부 실딩처리가 미약하여 기공이 형성되었고, 2층에서는 비드의 운봉폭이

커서 미처 슬래그가 빠져 나가지 못하여 슬래그가 비드 내부에 존재하였으리라 사료된다.

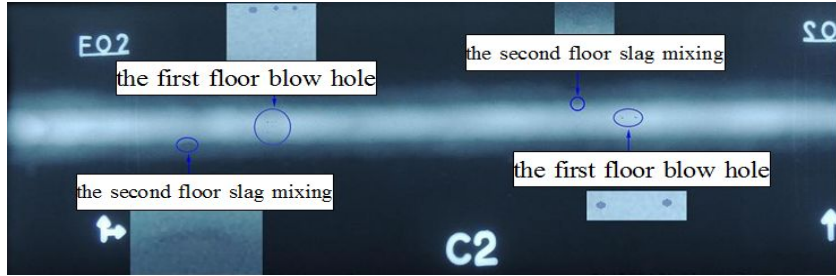


Fig. 4-90. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 100% welding specimen by opening angle 60°

나. CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%일 때 개선 각도에 따른 맞대기이음

Fig. 4-91은 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80%에 개선각도 40°로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층은 무결함이지만, 2층에서는 10mm 이상 슬래그가 2개가 존재하고, 수많은 부분에서 융합불량이 발생되어 용접결함이 존재하여 X선 검사 기준에 불합격인 것을 알 수 있다. 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 가스보호량을 개선각도 40°로 맞대기이음 용접한 후, X선 투과 촬영한 필름 판상에 나타난 A8과 비교하여 보면, 용접이음부의 개선각도가 10°정도 작아 2층 용접시 슬래그가 잘 빠져 나오지 못하여 슬래그 혼입이 되었고, 또한 같은 용접전류에서는 개선각도가 적을 때는 많은 용접열량이 필요로 하는데, 같은 용접전류로 사용하여 용접입열이 적어 일부가 융합불량이 발생되고, 슬래그 혼입이 된 것으로 사료된다.

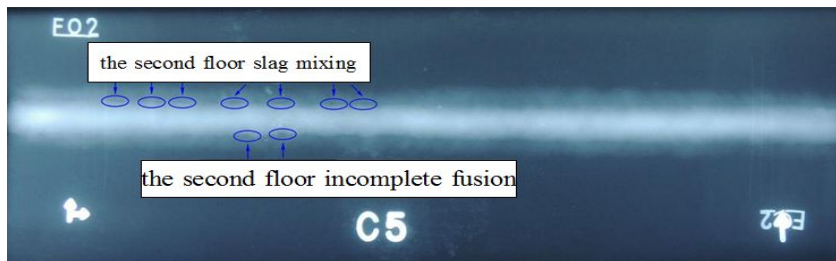


Fig. 4-91. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% welding specimen by opening angle 40°

Fig. 4-92은 보호가스 CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80%에 개선각도 50°로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타난 용접결함이 다른 용접조건으로 용접한 것보다 용접결함이 전혀 없는 무결함으로 나타낸 것으로 알 수 있는데, 이는 CO<sub>2</sub> 20%에 아르곤가스를 80% 혼합하므로 아크가 안정되고 스패터가 감소되므로 용접작업성 등 용접 품질이 향상되었기 때문이라 사료된다.

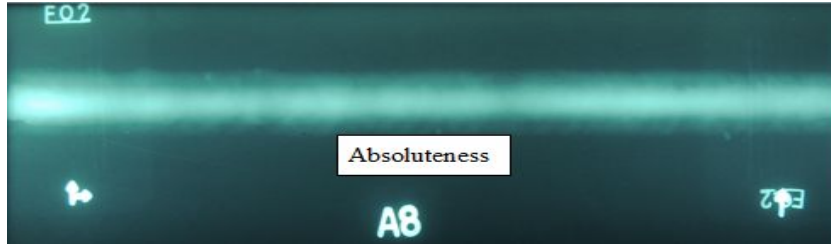


Fig. 4-92. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80% welding specimen by opening angle 50°

Fig. 4-93는 보호가스가 CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80%에 개선각도 60°로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타난 용접결함이 다른 용접조건으로 용접한 것보다 용접결함이 전혀 없는 무결함으로 나타낸 것으로 알 수 있는데, 이는 용접이음부의 개선각도가 크다 하여도 CO<sub>2</sub> 20%에 아르곤가스를 80% 혼합하므로써 아크가 안정되고, 스패터가 감소되므로 용접작업성이 향상되었기 때문이라 사료된다.

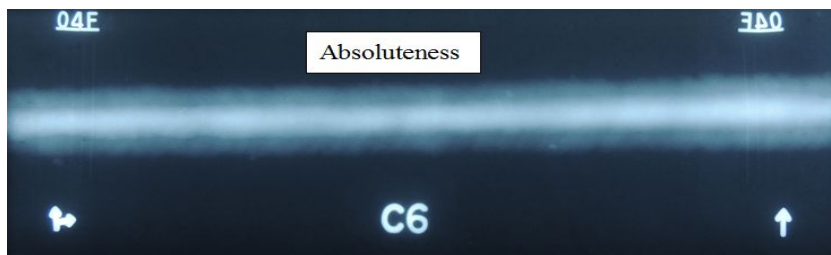


Fig. 4-93. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80% welding specimen by opening angle 60°

#### 4. 용접이음의 루트 간격에 따른 용접부의 방사선검사

판 두께가 12mm인 ATOS 80 고장력강재를 용접이음부 루트 간격에 따른 용접결함을 평가하기 위하여 맞대기 이음부의 루트 간격에 따라 3[mm], 5[mm]로 분류하여 보호가스가 CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 D3, A8라 정의하였

다. 용접이음의 패스는 가장 좋은 용접 패스 수인 4pass, 용접전류 200A, 아크전압 24V, 용접 진행속도는 14.4cm/min 등 용접조건을 주었고, 용접하기 전 모재 균열을 방지하기 위하여 예열온도를 160℃로 하고, 맞대기이음의 뒷담재는 용접용 세라믹재를 사용하여 용접한 후 X선 촬영한 결과 Figs. 4-94~98로 나타내었다.

### 가. 루트 간격 3[mm]일 때의 맞대기이음

Fig. 4-94는 CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%의 보호가스를 사용하고 루트 간격 3[mm]로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타낸 것으로서 1층, 2층에서는 결함이 없이 나타났는데, 이는 루트 간격이 좁다 하여도 CO<sub>2</sub> 20%에 아르곤 가스를 80% 혼합하므로써 아크가 안정되고, 스파터가 감소되므로 용접작업성이 향상되었기 때문이라 사료된다.

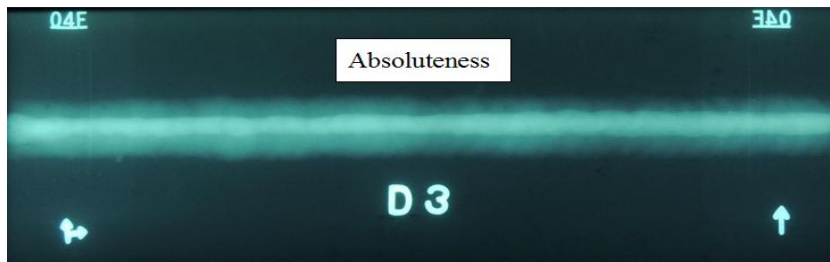


Fig. 4-94. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% welding specimen by root gap 3[mm]

### 나. 루트 간격 5[mm]일 때의 맞대기이음

Fig. 4-95는 CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%의 보호가스를 사용하고 루트 간격 3[mm]로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타낸 것으로서 1층, 2층에서는 결함이 없이 나타났는데, 이것 또한 CO<sub>2</sub> 20%에 아르곤가스를 80% 혼합하므로써 아크가 안정되고 스파터가 감소되므로 용접작업성 등 용접 품질이 향상되었기 때문이라 사료된다.

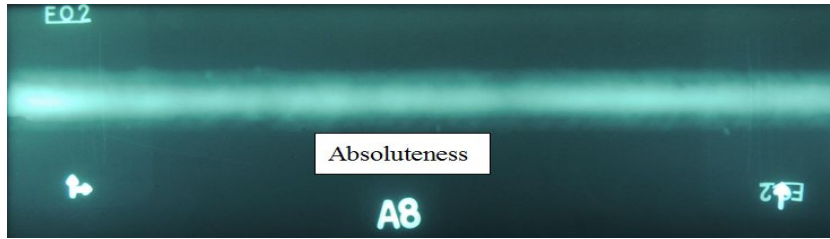


Fig. 4-95. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% welding specimen by root gap 5[mm]

### 5. 용접이음부의 혼합가스 비율에 따른 용접부의 방사선검사

관 두께가 12mm인 ATOS 80 고장력강재를 용접부에 보호가스를 혼합가스량 비율에 따른 용접결함을 평가하기 위하여 맞대기 이음부의 보호가스를 혼합가스량 비율을 분류하여 보호가스가 CO<sub>2</sub>가스 10% + Ar 90%, CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%, CO<sub>2</sub>가스 30% + Ar 70%일 때 방사선 촬영 필름을 각각 E1, A8, E3라 정의하였다. 용접이음의 패스는 가장 좋은 용접 패스 수인 4pass, 용접전류 200A, 아크전압 24V, 용접 진행속도는 14.4cm/min 등 용접조건을 주었고, 용접하기 전 모재 균열을 방지하기 위하여 예열온도를 160℃로 하고, 맞대기이음의 뒷담재는 용접용 세라믹재를 사용하여 용접한 후 X선 촬영한 결과 Figs. 4-96~98로 나타내었다.

#### 가. CO<sub>2</sub>가스 10% + Ar 90%일 때의 맞대기이음

Fig. 4-96은 보호가스 CO<sub>2</sub>가스 10% + Ar 90%로 보호가스를 사용하고 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타낸 것으로서 1층에서는 3점의 기공과, 2층에서는 수많은 융합불량으로 결함이 존재하므로 X선 검사 기준에 불합격인 것을 알 수 있다. 이는 CO<sub>2</sub> 20%에 아르곤가스를 80% 혼합하므로써 무결함 상태에 비하여 수 많은 결함을 나타낸 것은 아크가 불안정하게 되고, 아르곤 가스량이 많아 용입은 약해 하므로 2층에서 많은 융합불량이 형성되었기 때문이라 사료된다.

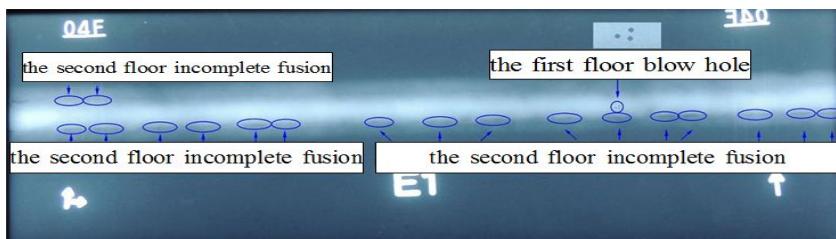


Fig. 4-96. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 10% +Ar 90% welding specimen

#### 나. CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%일 때의 맞대기이음

Fig. 4-97은 CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%의 보호가스를 사용하고 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타난 것으로서 1층, 2층에서는 결함이 없이 나타났는데, 이것 또한 CO<sub>2</sub> 20%에 아르곤가스를 80% 혼합하므로 아크가 안정되고 스패터가 감소되므로 용접작업성 등 용접 품질이 향상되었기 때문이라 사료된다.

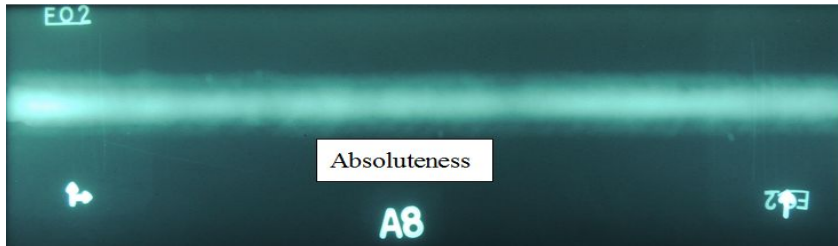


Fig. 4-97. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80% welding specimen

#### 다. CO<sub>2</sub>가스 30% + Ar 70%일 때의 맞대기이음

Fig. 4-98은 CO<sub>2</sub>가스 30% + Ar 70%로 보호가스를 사용하고 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타난 것으로서 1층에서는 5점의 기공과, 2층에서는 수많은 용합불량과 슬래그 혼입으로 결함이 존재하므로 X선 검사 기준에 불합격한 것을 알 수 있다. 이는 CO<sub>2</sub> 20%에 아르곤가스를 80% 혼합하므로써 무결함 상태에 비하여 수많은 결함을 나타낸 것은 아크가 불안정되고, CO<sub>2</sub>가스와 아르곤 가스량의 비율이 맞지 않고, 용입 상태가 나쁘고 얇아 1층에서는 기공과 2층에서는 용합불량과 슬래그 혼입 등 용접결함이 형성되었으리라 사료된다.

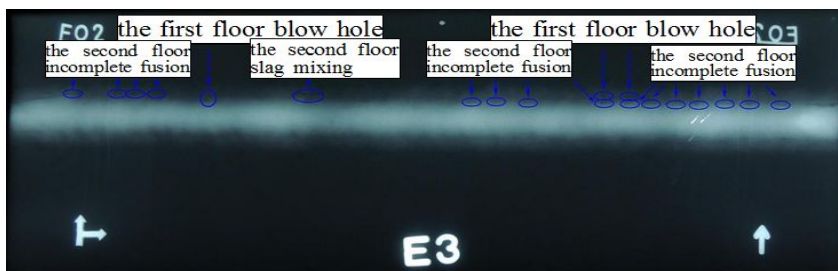


Fig. 4-98. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70% welding specimen



## 6. 용접이음부의 혼합가스 비율에 따른 용접부의 방사선검사

판 두께가 12mm인 ATOS 80 고장력강재를 용접이음부에 용접하기 전에 예열 및 비예열에 따른 용접결함을 평가하기 위하여 맞대기 이음부의 보호가스를 혼합가스량 비율을 분류하여 보호가스를 CO<sub>2</sub>가스 100% 또는 CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80% 공급하여 방사선 촬영 필름을 각각 A2, F1, A8, F5라 정의하였다. 용접이음의 패스는 가장 좋은 용접 패스 수인 4pass, 용접전류 200A, 아크전압 24V, 용접 진행속도는 14.4cm/min 등 용접조건을 주었고, 맞대기이음의 뒷담재는 용접용 세라믹재를 사용하여 용접한 후, X선 촬영한 결과 Figs. 4-99~102로 나타내었다.

### 가. CO<sub>2</sub>가스 100%일 때의 맞대기이음

Fig. 4-99는 CO<sub>2</sub>가스 100%로 보호가스로 사용하고, 용접하기 전에 예열처리를 160℃로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층 비드에서 아주 작은 블로우 홀이 4점 정도 존재하여 2급 정도로 알 수 있으며, Fig. 4-156에 비교하면 예열하지 않은 용접이음부보다 X선 결과 현저히 용접결함이 적은 것을 알 수가 있다.

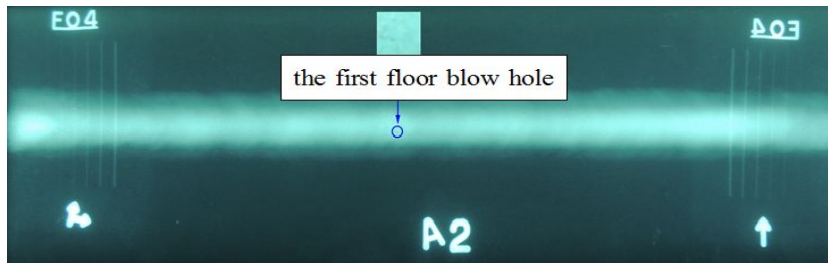


Fig. 4-99. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 100% in preheating welding specimen

Fig. 4-100은 CO<sub>2</sub>가스 100%로 보호가스로 사용하고, 용접하기 전에 예열처리를 하지 않은 상태로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 용접결함을 나타낸 것으로서, 1층 비드에서 블로우 홀 3점 정도 존재하고, 2층에서는 수많은 용착불량으로 불합격인 것을 알 수 있다. 이것은 Fig. 4-155에 비교하여 용접 전에 용접시험편에 예열하지 않으므로 수많은 용착불량 등이 나타난 것을 알 수 있다.

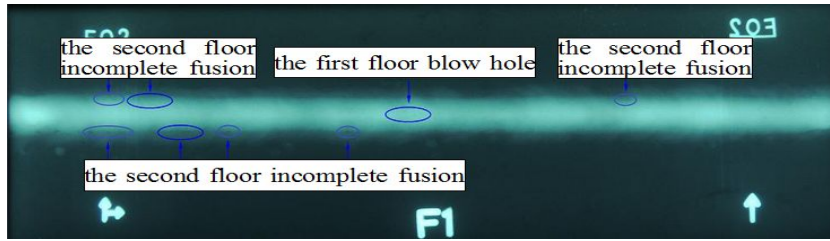


Fig. 4-100. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 100% in no-preheating welding specimen

#### 나. CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%일 때의 맞대기이음

Fig. 4-101은 CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%보호가스로 사용하고, 용접하기 전에 예열처리를 160℃로 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타낸 것으로서 1층, 2층 모두 결함 없이 나타났는데, 이것은 CO<sub>2</sub> 20%에 아르곤가스를 80% 혼합하므로 아크가 안정되고 용접작업성이 좋고, 용접하기 전 용접이음부에 160℃로 예열처리를 하였기 때문이라 사료된다.

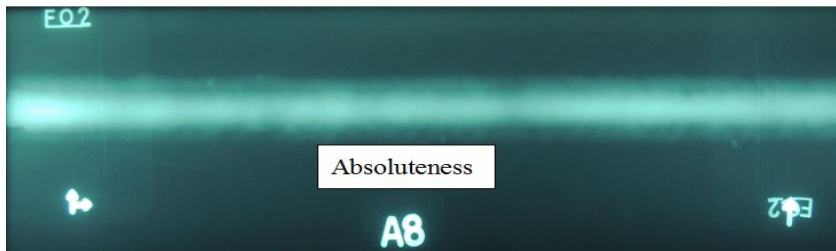


Fig. 4-101. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80% in preheating welding specimen

Fig. 4-102는 CO<sub>2</sub>가스 20% + Ar 80%보호가스로 사용하고, 용접하기 전에 예열처리를 하지 않고 맞대기이음 용접한 후, X선으로 투과하여 촬영한 필름 판상에 나타낸 것으로서 1층, 2층 모두 결함 없이 나타났는데, 이것은 용접이음부에 예열을 하지 않아도 용접부에 결함 없이 나타난 것은 CO<sub>2</sub> 20%에 아르곤가스를 80% 혼합하므로 아크가 안정되므로 스파터가 감소되고 용접작업성이 좋아 용접품질이 향상되었으리라 사료된다.

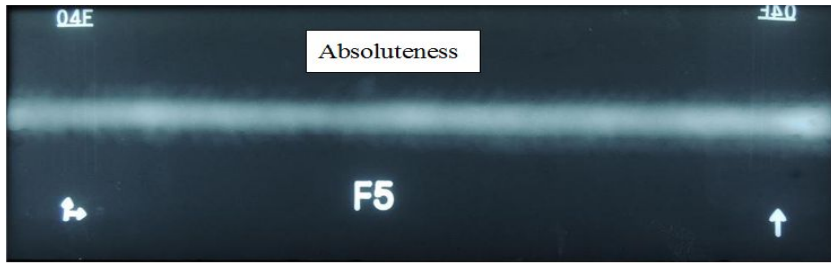


Fig. 4-102. X-ray radiographic test film of shielding gas CO<sub>2</sub> 20% +Ar 80% in non-preheating welding specimen

## 제5장 결 론

ATOS80 고장력강판을 Flux cored arc welding 용접조건에 따라 용접한 시험편의 인장강도, 항복강도, 연신율, 경도, 취성강도인 기계적 특성과 용접부의 메크로 조직검사와 용접 미세조직검사, 방사선 X선 투과검사 등을 통하여 나타난 용접부의 용접결합을 통하여 각각 비교·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 인장강도는 4패스로 용접한 시험편이 5패스보다 좋았고, 보호가스량 15ℓ와 20ℓ에서는 별 차이가 나지 않았으며, 혼합가스보다 순탄산가스의 연신율이 약 2~6%정도가 더 좋게 나타나는데, 그것은 순탄산가스가 탈산효과가 크기 때문이라 사료되고, CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 비율이 다른 혼합가스 비율보다 더 좋은 결과를 가져 왔으며, 예열유무관계에 있어서는 별 차이가 나지 않았다.

2. 경도시험은 4패스로 용접한 시험편보다 5패스의 경도가 높게 나타났는데, 그것은 5패스일 때 용접입열량이 커서 미세한 조직 때문이고, 보호가스 종류, 구속여부 등 여러 data 등으로 비교하여 볼 때, 개선각도 50°가 40°, 60°의 개선각도보다 경도값이 안정적으로 나타났으며, 5mm의 용접시험편이 3mm의 용접시험편보다 더 안정적으로 경도값이 나타났으며, 혼합가스 비율에서 탄산가스가 많은 CO<sub>2</sub> 30% + Ar 70%에서는 경도값이 낮고 경도값이 안정되게 나타난 것은 탈산효과가 크기 때문이라 사료된다.

3. 충격시험은 4패스로 용접한 시험편이 5패스보다 충격치가 높게 나타났으며, 보호가스량에서 20ℓ이 가장 높은 충격치를 나타냈는데, 이것은 25ℓ일 때는 난류현상으로 용접부에 제대로 보호하지 못하여 취약하게 되었고, CO<sub>2</sub> 100%, 비구속 상태의 용접이음부 개선각도가 50°일 때 흡수에너지가 가장 높게 나타났으며, 구속용접에서의 내부응력이 구속받았기 때문이라고 사료되고, 예열하지 않은 용접시험편의 충격시험이 예열한 용접시험편보다 흡수에너지가 크게 나타난 것은 조대화 조직에 의하여 연성이 증가되었기 때문이라고 사료된다.

4. 매크로 조직검사는 4패스, 20ℓ, 50°, 예열한 용접시험편은 용접 결합이 적고 정상적인 용접수지상이 용착부 전체에 나타났으나, 그 나머지는 취약하고 미세한 용접조직으로 나타났고, 용접이음부의 루트 간격이나 혼합가스 비율에 있어서 모두 용접 수지상이 발달하였고, 5mm일 때와 CO<sub>2</sub> 20% + Ar 80%의 비율에서는 용접결합이 없었으나, 그 나머지 모두는 용접결합이 형성되어 있었다.

5. 미세조직 검사는 4패스, 20ℓ, 40°, 50°, 안정적인 조직 상태인 용착부 바탕은 Ferrite로 미세한 Martensite 조직으로 형성되고, 경계부는 바탕은 Ferrite이고, Pearlite 조직이 나타났으나, 그 나머지는 Ferrite 바탕에 미세한 Martensite 위에 일부 Bainite 조직이나 Pearlite 조직으로 형성되어 있으며, 용접이음부의 루트 간격이나 혼합가스 비율에 있어서는 모두 안정적인 용접조직이 형성되어 있는 것을 알 수 있었다.

6. 방사선 검사는 4패스, 20ℓ/min, 50°, 3mm, 5mm, CO<sub>2</sub> 20% + 아르곤 80%, 예열한 용접시험편이 다른 용접조건의 시험편이 용접결합이 없거나, 가장 적은 나타난 것으로 검사되었으나, 그 나머지 용접조건인 용접시험편은 많은 용접 결합이 나타났다.

### ※기대효과

두께가 12mm인 ATOS80 고장력강 V형 맞대기이음의 Flux cored arc welding에서 위 실험을 통하여 위 용접조건을 제시한 것 중 용접 pass는 4패스/ 구속 상태는 비구속/ 보호가스는 CO<sub>2</sub>가스 100%/ 루트간격은 5[mm]/ 보호가스량은 20ℓ/min/ 개선각은 50°/ 용접전류는 200[A] 정도/ 아크전압은 24[V] 정도/ 용접 전 모재의 예열온도는 약 160[°C] 정도로 뒷받침한 Flux cored arc welding 전용 ceramic을 사용하는 것이 가장 적합한 용접조건이라고 제시한다.

## 참고문헌

- (1) Cho, K. S., 2008, "'Welding Specimen of Radiographic Examination,'" The Korean Welding and Joining society, Vol. 21, No. 6, pp. 4~9.
- (2) Kim, H. T., Hwang, S. H., Nam, S. W., "Study on Low Cycle Fatigue Behavior of AISI 304L Austenite Steel of Weld Zone", The Korean Welding and Joining society, Vol. 2, NO. 1, pp. 49~57, 1984.
- (3) Lee, Y. G., Lee, G. Ch., Kim, J. S., Han, D. S., Oh, S. T., Lee, B. Y., "A Study on the High Temperature Tensile Characteristics of Lap Weld of Cr Ferritic Stainless Steels", The Korean Welding and Joining society, Vol. 26, NO. 5, pp. 60~65, 2008.
- (4) Shin, "A study on the effect of welding after a weld zone on mechanical properties", Engineering Master's Degree Thesis, Chungju University Industrial Management Graude School Material Engineering, 1989.
- (5) Yoshimura, G., Sekiguchi, K., "Hyundai Welding Technology - Welding and Material", Sanbo Publishing Co., pp. 244~260, 1980.
- (6) Kamg, Ch. S., "Welding Metallurgical engineering", Bando Publishing Co., pp. 133~134, 1995. 11. 1
- (7) The Korean Welding and Joining Society, "Welding·Joining Handbook", III Eutectic and Heat-processing, p. 4, 2007.
- (8) Park, S. D., Song, Ch. Y., Lee, D. G., Jung, S. H., Ha, J. H., "Welding General", Wonchang Publishing Co., p. 19, 1999.
- (9) Um, K. W., Lee, W. P., "Theory Practice Welding Technology", Wonhwa, In c., p. 13, 1980.
- (10) Cary. H. B., 1979, Modern Welding Technology, Prentice Hall, Inc., p. 11.
- (11) The Korean Welding and Joining Society, 2002, Welding and Joining Dictionary, The Korean Welding and Joining Society, p. 135.
- (12) Leonard, P. C., Welding Handbook. Eight Edition, American Welding Society, Vol. 1, pp. 152~153, 1987.
- (13) Kim, J. D., Seo, D. Y., "Welding Structure Design and Construction", Sunhack Publishing Co., p. 50, 2000.
- (14) Suk, C. S., Kim, S. Y., and Park., G. H., "Response of Welding Residual Stress and Fatigue Crack of development," Journal of Mechanical Science

- and Technology of the Society, Vol. 23, No. 9, pp. 21~26, 1999.
- (15) Shin, J. S., "A Study on Stress Concentration Factor at Fillet Welded Joint," Transactions of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 33, No. 4, pp. 35~39, 1996.
  - (16) Kim, G. D., , "Welding Handbook", Deagwan Seorim, p. 367, 2002.
  - (17) Yang., "A Study on the Effect of Groove Type on the Strength of Butt Welded Joint", Engineering master's degree thesis, Pusan University Graduate School Ship Building and Marine Engineering, 1995.
  - (18) Wareing, J., "Fatigue Crack Growth in a Type 316 Stainless Steel at Elevated Temperatures", Metallurgical Transaction A, Vol. 6A, No. 5, pp. 1367~1377, 1976.
  - (19) Kim, D. Y., "A Study on the Fatigue Behavior of Coped Stringer in Steel Railroad Bridge", Thesis for a Doctorate, Hanyang University, Republic of Korea, p. 38, 1995.
  - (20) Paris : "Fatigue fracture in welding construction", publication dela soudure autogine, 1976.
  - (21) Kim, Ch. I., Moon, J. H., Park, S. H., Woo, S. M., Han, M. G., "Welding Structure Design and Construction", Wonchang Publishing Co., p. 381, 1994.
  - (22) Howard B. Cary, "New Welding Engineering", Fifth Edition, p. 664, 2002.
  - (23) The Japan Society of Engineers, "The Fracture Example and Interpretation Technology of Machinery Structure", Technical Data, 1984.
  - (24) The Korean Welding and Joining Society, "Welding-Joining Handbook II", p. 88, 2008.
  - (25) Choi, B. K., Jang, K. C., Choi, B. H., and Lee, K. A., "Influence of Carbon Content on the Mechanical properties of the Ni-Co Alloy", Journal of Korea Machine Tool Society, Vol. 15, No. 5, pp. 7~13, 2006.
  - (26) Jo, G. S., "Radiographic Testing of Weld Zone", The Korean Welding and Joining Society, Vol. 21, No. 4, p. 4, 2008.
  - (27) Kim, J. D., Bae, W. H., Kim, G. S., Kwon, H. Y., "Practical Welding Technology", Wonchang Publishing Co., p. 373, 1997.
  - (28) Um, G. W., Lee, W. P., "Theory Practice Welding Technology", p. 395, 1980.

- (29) Lee, J. S., "A Study of Weld Fusion Zone Phenomena in Austenitic Stainless Steels(2)", Journal of KWS, Vol. 18, pp. 56~69, 2000.
- (30) Lee, J. S., "A Study of Metallurgical Phenomena in Austenitic Stainless Steel Fusion Welds(1)", Journal of KWS, Vol. 14, pp. 86~90, 2004.
- (31) N. Yriok et al ; Studies on Delayed Cracking in Steel weldment, J. of JWS, Vol. 48, pp. 1028~1033, 1979.
- (32) F. R. Coe, Z. Chano, "Hydrogen distribution and removal for a single bead weld during cooling", Welding Research International, Vol. 5, No. 1, 1975.
- (33) E. Smith, "The fracture of hydride material during delayed hydride cracking (DHC) crack growth", Int. j. Pres. Ves. & Piping, Vol. 61, p. 77, 1995.
- (34) J. Brozda, "A comparison necessary to prevent cold cracking during welding of low-alloy high- and strength steels", Welding International, Vol. 11, p. 95, 1997.
- (35) Material Testing Method, Wonchang Publishing Co., Vol. 1, pp. 121~147, 1994.
- (36) Stanly E. Ferree, "New Generation of Cored Wires Creates Less Fume and Spatter", Welding Journal, pp. 45~48, 1995.
- (37) Lee, Ch. G., "Welding Engineering", 청문각, pp. 232~254, 2009.
- (38) Seo, Ch. M., Kim, J. G., "Fractography and Application(III)", The Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 24, No. 3, pp. 193~202, 1982.
- (39) 吉田 進 金屬正雄, "Effect of size and frequency on fatigue properties of SM50B butt welded joint", 日本銲接學會誌, Vol. 47, No. 9, pp. 627~632, 1978.
- (40) Paris, P. C., "The Growth of Fatigue Cracks due to Variation in Load", Ph.D.Thesis, Lehigh University, 1963.
- (41) 日本銲接協會規格 : 銲接作業標準. WES 7102, 1983.
- (39) KR Rules and Regulations, "Material and Welding", KR Engineering, Vol. 2, pp. 58~59, 1998.
- (42) Yoo, "A study on the annealing effect in mechanical properties of butt weld zone", Engineering Master's Degree Thesis, Inha University Graduate School Mechanical Engineering, 1981.
- (43) Lee. Kim, "Study for groove angle of Butt Welding, Engineering Master's Degree Thesis, Pusan University Graduate School Ship Building and Marine Engineering, 1995.
- (44) Lee., Experimental Study of tensile strength with the change of groove angle to the Arc welding steel plate(SS41)", Engineering Master's Degree Thesis, Chosun University Industrial Graude School Industrial Engineering, 1982.
- (45) Kim, Y. I., Kang, J. K., Huh, J. H., Lee, S. K., "A Study on the relationship among the constraint and residual stress and cold crack in thick section weldment", The Korean Welding and Joining Society, Vol. 2, p. 1, 1998.

- (46) Adams, C. M, "Cooling rates and Peak temperaters in fusion welding", Welding journal, p. 37, p. 5, p. 210, 1958.
- (47) AWS welding Handbook. 5thed., section on, pp. 15~20, 1962.
- (48) Sekiguchi, H., "Fundomental research on the welding heat affected zon of steel", The Nikkan Kogyo Shinbun, Ltd., pp. 56~61 1976.
- (49) ASM Handbook Committee : Metal Handbook (Ninth Edition), Vol. 6, pp. 129~130, 1973.
- (50) Kitagawa, H., and Suh., C. M., "Crack Growth Behavior of Fatigue Microcracks in Low Carbon Steels", Fatigue Fracture Engineering Material Structure, Vol. 9, No. 6, pp. 409~424, 1987.
- (51) Oh, H. K., Jung, J. G., and Cha, Y. H., Welding Engineering, Wonchang Publishing Co., Korea, p. 395, 1999.
- (52) 鎔接學會, p. 441, 2007.
- (53) Kim, J. G., Choi, N. S., Kim, T. W., "Mechanical Material", Moonundang, p. 251, 2009.
- (54) Classification and Regulations, Material and Welding, The Korean Classification, Vol. 2, pp. 58-59, 1998.
- (55) Kang, Ch. S., "Welding Metallurgy Engineering", Bando Publishing Co., pp. 133~134, 1995. 11. 1
- (56) Welding Term Dictionary, "The Korean Welding Society Direction", Wonchang Publishing Co., pp. 99~100, 1992. 10.
- (57) Welding and Joining Handbook II epidemiology, Construction and Construction, The Korean Welding and Joining Society, p. 290, 2008. 11.
- (58) Cho, K. S., "Welding Specimen of Radiographic Examination", The Korean Welding and Joining Society, Vol. 21, No. 6, pp. 4~9, 2008.
- (59) Cho, K. S., "Welding Specimen of Radiographic Examination", The Korean Welding and Joining Society. Vol. 21, No. 6, pp. 4~9, 2008.



## 감사의 글

학위과정부터 본 논문이 완성될 때까지 자상하고 세심한 지도와 격려를 아끼지 않으셨던 지도교수 최 병기 교수님과 부족함이 많은 논문심사에서 세밀한 부분까지 검토하시어 많은 조언과 가르침을 주신 양인영 교수님, 차용훈 교수님, 목포대학교 김일수 교수님, 우석대학교 임광희 교수님께 진심으로 깊은 감사를 드리며, 기계공학과 모든 교수님들께도 감사를 드립니다.

본 연구를 수행 할 수 있도록 많은 배려와 지도를 끊임없이 해주신 권택용 박사님, 장경천 박사님, 한국폴리텍대학 탁인석 학장님, 탁경주 교수님, 은상원 교수님께 진심으로 깊은 감사를 드립니다.

또한, 일일이 언급할 수 없지만 항상 관심을 가지고 힘이 되어 주신 모든 분 들께 감사드리며, 더욱 노력하는 모습 보여드릴 것을 약속드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 어려운 여건과 환경 속에서도 극진한 사랑과 지성으로 소홀함 없이 헌신적으로 내조를 다 해준 사랑하는 아내 박 정혜와 자신들의 몫을 다하는 사랑스러운 딸 윤진과 아들 재훈, 그리고 사랑하는 형제자매, 모든 가족과 친지 분들과 이 기쁨을 함께하고자 합니다.

2013 년 8 월

백 정 환 올림

# 저작물 이용 허락서

|                       |          |                                                                                                          |     |          |     |     |
|-----------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------|-----|-----|
| 논문<br>게재<br>자<br>인적사항 | 학 과      | 기계공학과                                                                                                    | 학 번 | 20097406 | 과 정 | 박 사 |
|                       | 성 명      | 한글 : 백 정환 한문 : 白 正煥 영문 : Baek, Jung-Hwan                                                                 |     |          |     |     |
|                       | 주 소      | 광주시 광산구 신창동 1270번지 부영2차 208동 1601호                                                                       |     |          |     |     |
|                       | E - mail | baekjhwan@hanmail.net                                                                                    |     |          |     |     |
| 논문제목                  | 한 글      | ATOS80 고장력강의 용접조건에 따른<br>제 특성에 관한 연구                                                                     |     |          |     |     |
|                       | 영 문      | A Study on the Characterzation of Properties in the<br>Welding Conditions of ATOS80 High-strength Steels |     |          |     |     |

본인이 저작한 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 D/B구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기어장치에의 저장, 전송 등을 허락함.
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위내에서의 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 의사표시가 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.

2013 년 6 월 일

게재 논문 신청자 : 백 정 환



조선대학교 총장 귀하