

노치 위치에 따른 Narrow Gap용접부의 인성 변화

김 희 진*·신 민 태*·원 정 규*

Effect of Notch Location on the Toughness of Narrow Gap Weldment

H. J. Kim*, M. T. Shin* and J. K. Won*

Abstract

This investigation studied the toughness variations in the narrow gap weldment with the notch location. Specimens with the notch at the center of the weld metal showed the lowest toughness. As the location of notch moves to fusion line, the impact properties improve reaching a maximum at the fusion boundaries. This improvement in toughness can be explained by the microstructural feature showing in the narrow gap weldment. "One pass/layer" technique performed in narrow gap welding results in the increased proportion of refined structure as approaching to fusion boundary from weld center and thus leave 100% refined structure along the fusion boundary. HAZ also shows 100% refined structure with respect to base metal structure accompanied with the significant suppression of ductile-brittle transition temperature.

1. 서 론

Narrow Gap용접은 일종의 Multi-pass 용접으로써 하나의 pass가 하나의 층(one pass/layer)을 형성하면서 용접이 완료되는 용접방법으로 극후관의 용접시 극히 소량의 용착금속만을 사용하여 용접을 완료할 수 있으므로 용접 비용 및 용접 변형을 최대로 줄일 수 있는 방법이다. 이 방법의 특징과 장점 및 단점에 대해서는 지금까지 여러 연구자에 의해서 잘 보고되어져 있기 때문에¹⁻⁴⁾ 이에 대한 설명은 생략하고, 본 연구에서는 narrow gap용착금속이 층상으로 쌓여 간다는 점에 착안 하여 미세조직의 분포를 조사함과 아울러 조직의 변화에 따른 인성의 분포를 규명하고자 하였다.

일반적으로 용착금속의 충격치는 모재의 충격치에

비하여 변화가 심한데 이는 용착금속이 주조조직을 가짐과 동시에 다층용접으로 인한 조직의 파괴가 균일치 못함으로 미세조직이 불균일하여 지기 때문이다. 그러나 Narrow gap용접부에서는 적층방법의 특징상 이와 같은 불균일성이 주기적으로 나타나므로, 미세화된 조직의 양에 따른 인성의 변화를 연구하기에 용이할 것으로 보고 이 연구를 행하였다.

2. 실험방법

2-1. 용접시험편의 준비

본 실험에서 사용한 모재는 141 및 280mm 두께의 A516, Gr.60강재로서 그 화학조성은 Table.1에서 보여주고 있다. Narrow gap용접을 위하여 본 모재를 Fig.1에서 보여주는 것과 같이 5°의 Included angle

*현대중공업, 용접기술연구소, 경희원

Table. 1. Chemical compositions of base metal (A516 Gr. 60) and weld deposit

	C	Si	Mn	P	S
Base Metal	0.14	0.26	1.15	0.013	0.003
Weld Deposit	0.09	0.20	1.20	0.016	0.003

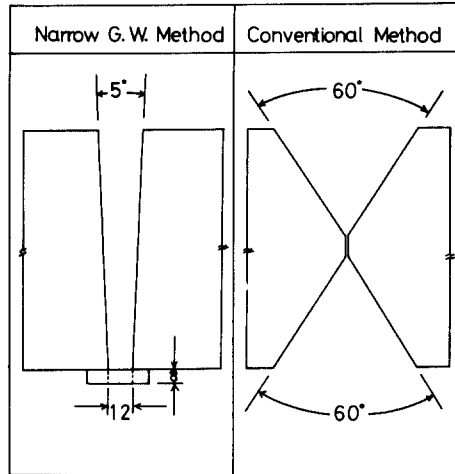


Fig. 1. Comparison of groove geometries, i.e. narrow gap groove vs. conventional X-groove.

을 주어 개선을 한 다음 용접을 실시하였다. 이때 재료로는 H14 wire에 fused-type flux를 사용하였다. 용접입열은 35KJ/cm정도 였으며 이러한 입열로 141mm 두께의 강재를 용접완료하는데 37pass가 소요되었고, 용착금속의 화학성분은 Table. 1에 보여주고 있다. 280mm 두께의 강재를 용접하는 데는 횡단면적이 넓어짐으로 인하여 pass수도 증가하여 75pass가 소요되었다. 용접완료된 판은 20mm 두께로 절단하여 615°C에서 후열처리(PWHT)를 실시하였는데, 280mm 두께의 강재를 고려하여 4시간동안 열처리를 실시하였다.

2-1. 충격시험

모든 충격시험편은 언급이 없는한 PWHT를 행한 용접시험편에서 취하였는데 노치의 위치는 Fig. 2에서 보는바와 같이 용착금속의 중앙에(CWM), 용착금속과 Fusion line의 중앙에(QWM), Fusion line(FL), Fusion line에서 1mm떨어진 열영향부(HAZ)에 각각 오도록 가공하였다. 노치의 위치가 의도하는대로 정확한 위치에 오게하기 위하여 모든 판에 대해 연삭

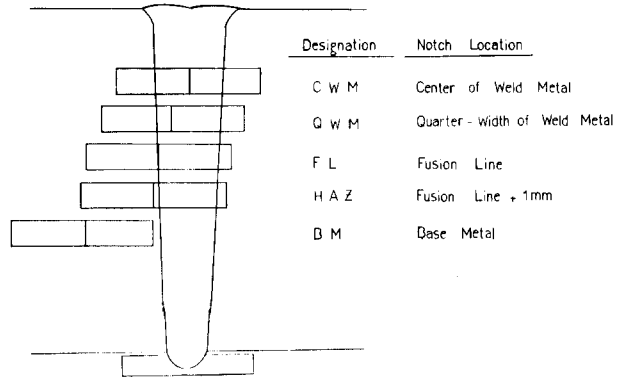


Fig. 2. Various notch locations with respect to weld geometry and their designation.

및 마크로 에칭(macro-etching)을 실시한후 기계가공하였다. 준비된 충격시험편은 상온과 -150°C사이에서 적당한 온도 간격으로 각온도에서 한개씩의 시험편을 시험하였다. 상온에서 -100°C까지는 에틸알콜을, 그 이하의 온도는 isopentane을 액화질소로 냉각시켜서 얻었다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 조직적 고찰

Fig. 3은 141mm 두께의 Narrow gap 용접부의 단면을 보여주는 사진으로 개선내에 적층된 각각의 pass를 잘 보여주고 있다. 최후 30mm정도를 제외하고는 모두 하나의 pass가 하나의 layer를 형성하면서 용접이 진행되었음을 알 수 있다. 이와 같은 적층으로 인하여 각각의 pass는 바로 밑에 적층된 bead의 일부를 HAZ화 하면서 조직을 미세화 시키고, 나머지 일부는 열영향이 충분치 못하여 초생달 모양의 응고조직을 그대로 가지고 있게되는데 이러한 미세조직의 분포를 좀더 자세히 보기 위하여 Fig. 3의 중앙부를 확대하여 Fig. 4에 보여 주었다. 이 사진은 용접부의 중앙에서 부터 모재까지 약 40여장의 사진을 찍어 연결시킨 것으로, 응고조직이 초생달 모양의 분포를 하고 있어서 center line에서는 미세화 되지 못한 응고조직이 가장 많이 남아있게 되고, fusion line으로 다가감에 따라 응고조직이 차지하는 비율이

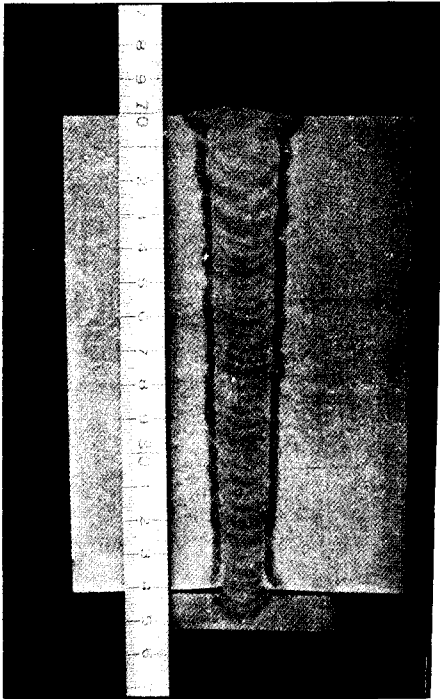


Fig. 3. Cross-sectional view of narrow gap weldment.

겹차 작아져서, 결국 fusion line상에서는 응고조직을 찾아볼 수 없게 된다. 다시말하면, 용착금속의 중앙부에서 fusion line쪽으로 다가감에 따라 열영향에 의하여 미세화된 조직이 차지하는 비율이 증가하여, fusion line에서는 100% 미세화된 조직으로 이루어지고 있다. 한편 HAZ 쪽을 살펴보면 일반적으로 fusion line를 따라 생성되는 조대한 조직이 보이지 않을 뿐만 아니라, HAZ의 조직이 모재의 조직보다 훨씬 미세하다는 것을 알 수 있다. 이는 HAZ의 fusion line상에 생기는 결정립조대화 영역이 다음 pass의 열영향부, 특히 미세화부위에 놓이게 되어 미세화된 것으로 보인다. 이렇게 미세화된 조직은 기존의 모재의 조직보다 미세하여 결과적으로 HAZ의 전영역이 미세화된 결과를 가져온다. Fig. 3을 확대하여 각위치, 즉 CWM, QWM, FL 및 HAZ에서 미세화된 조직이 차지하는 양(propotion of refined structure)을 linear fraction으로 측정 한 결과, table 2에서 보여주는 바와 같이, weld center에서는 약 47%에 불과하던 것이, QWM에는 62%로 증가하고 fusion line에 이르러서는 100%가 되고 있다. 또한 HAZ조직은 앞에서 언급한 바와 같이 base metal조직이 미세화된 것이므로 base metal을 0%라 할 때 HAZ는 100% 미세화된 조직이라 생각할 수 있다. 따라서 여기서 미세화된 조직이라함은 용접부의 조직이 원래의 조직보다 미세화된 조직을 지칭하고 있는데 이를 부위별로 보면 다음과 같다. 용착금속에

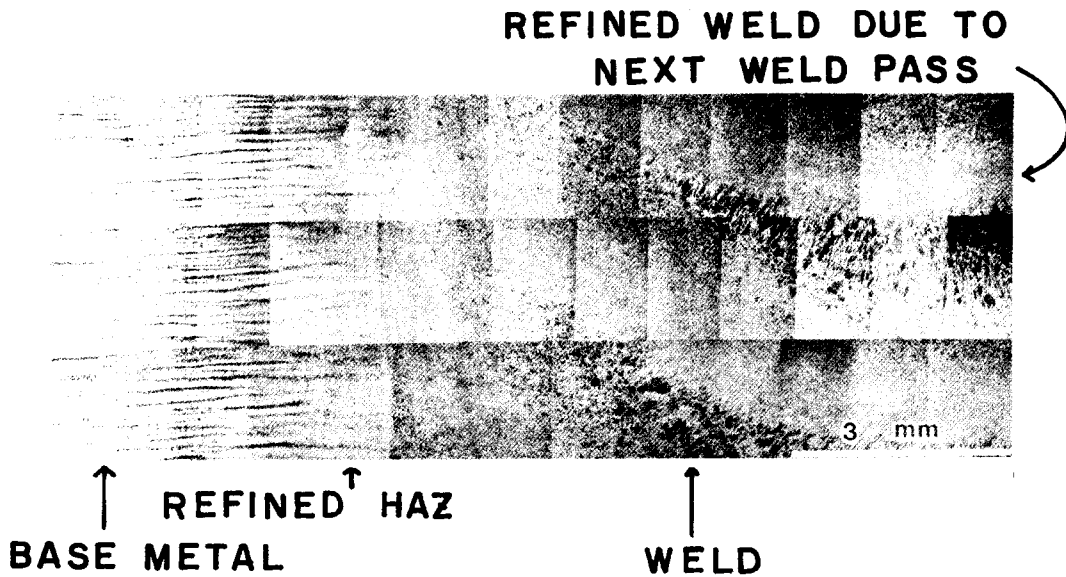


Fig. 4. Microstructure taken from the weld center to base metal.

Table. 2. Amount of the refined structure at the each location

Notch Location	Proportion of refined structure, (%)
Center of Weld Metal(CWM)	47
Quarter-Width of Weld Metal (QWM)	62
Fusion Line(FL)	100
Heat Affected Zone(HAZ)	100
Base Metal(BM)	0

서는 columnar grain structure가 바로 다음 pass의 열 싸이클을 받아 미세화된 것이고, HAZ에서는 모재가 바로 미세화된 것이거나 모재의 조직이 조대화 된 뒤 다시 다음 pass의 열영향을 받아 미세화된 것들이 되는 것이다. 이들을 미세되기전의 조직, 즉 columnar조직 및 모재조직과 미세화된 후의 조직을 비교하여 보여준 것이 Fig.5이다. Fig.5-a는 모재의 조직사진으로 전형적인 normalized강재의 미세조직, 즉 band상의 ferrite 및 pearlite phase를 가지고 있다. 이에 반하여 base metal이 열영향을 받은 HAZ에서는(Fig.5-c) band조직의 형상을 찾아볼 수 없을 뿐만 아니라 grain size가 모재에 비하여 극히 미세화

되었음을 알 수 있다. Fig.5-b는 용착금속중 미세화 되지 않은 부분, 즉 columnar grain structure를 그대로 가지고 있는 부위의 조직사진으로 grain boundary를 따라 생성된 grain boundary ferrite와 accicular ferrite가 혼합되어 존재하고 이러한 조직이 열 영향을 받아 미세화된 조직이 Fig.5-d로서 기존의 grain boundary ferrite나 accicular ferrite의 존재는 찾아볼 수 없고 전체가 아주 미세한 ferrite grain으로 구성되어 HAZ조직 (Fig.5-c)과 비슷함을 알 수 있다. 그러나 HAZ조직(Fig.5-c)과 용착금속중 미세화된 조직(Fig.5-a)을 자세히 비교해 보면 HAZ조직이 더욱 미세함을 알 수 있는데 이는 같은 열싸이클을 받아도 기존의 조직차이 및 성분차이로 인하여 그 미세화 정도에 차이를 줄 수 있다는 것을 알 수 있다.

3-2. 사피충격치의 변화

Fig.6은 280mm두께의 용접부에서 CWM시편을 채취하여 -20°C 에서 충격시험을 행한 결과로서 As-welded와 PWHT를 행한 후의 인성변화를 위치에 따라 보여주고 있다. 노치위치에 따른 인성치 변화를 보면 상부 및 하부 부위에서 약간 높은 충격치를 보여

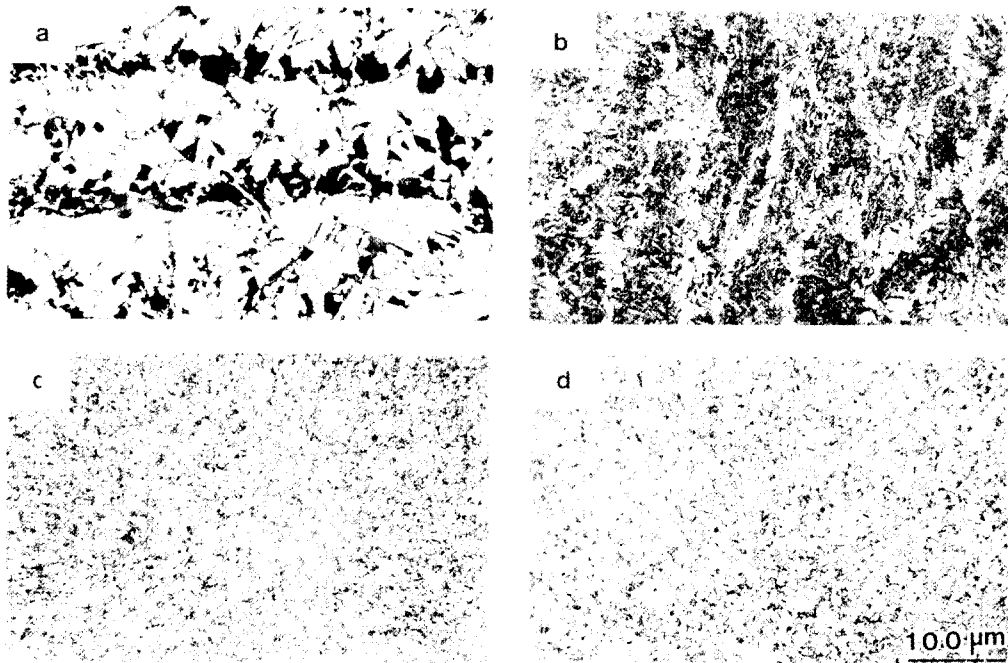


Fig. 5. Optical microstructures of (a) base metal, (b) unrefined columnar structure in weld metal, (c) HAZ and (d) refined region in weld metal.

주고 있고 열처리에 따른 인성치 변화를 보면 PWHT 후에 전영역에서 충격치가 향상되어 있음을 알 수 있다. 이를 기초로 이후의 충격시험을 위한 시험편은 one pass가 one layer로 형성된 부위 즉 중간 및 하부 부위에서 채취하였으며, 이들 부위에서 보여주는 충격치의 변화는(Fig. 6) 그 양이 작으므로 고려치 않았다.

Fig. 7은 notch위치에 따른 CWM, QWM 및 FL의 충격치의 변화를 온도에 따라 plotting한 것으로 완전한 전이곡선을 구하기 위하여 상온에서 부터 -100°C 에 걸쳐 시험하였다. 각각의 전이온도, 즉 DBTT를 상호 비교하여 보면, CWM의 DBTT가 가장 높고, QWM, FL순으로 낮아져서 FL에서의 DBTT는 약 -80°C 에 이르고 있다. 다시말하면 FL에서 인성이 가장 좋다는 결론이 되는데 이는 기존의 V 또는 X개선에서는 보기 드문 경향이다. 더구나 같은 용착금

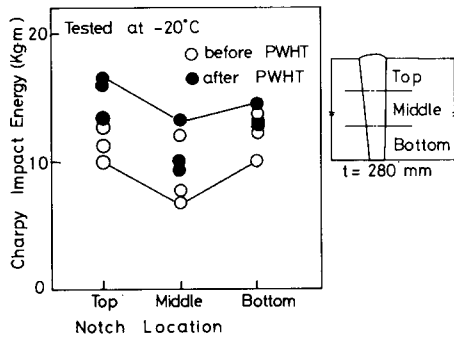


Fig. 6. Toughness variation of weld metal (CWM).

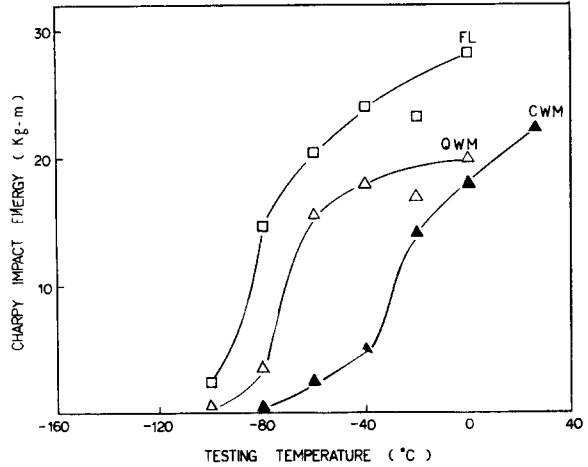


Fig. 7. DBTT curves of specimens with their notches at FL, QWM and CWM locations.

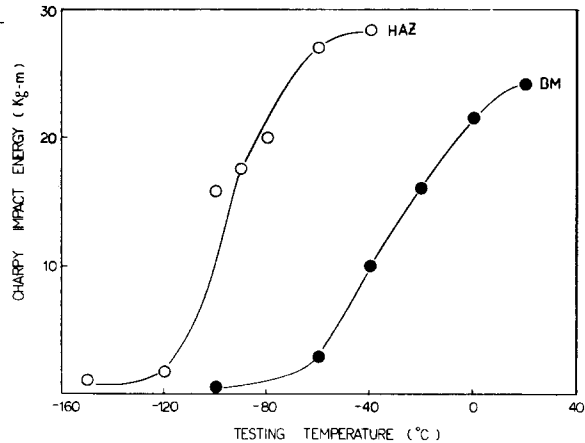


Fig. 8. DBTT curves of base metal and HAZ.

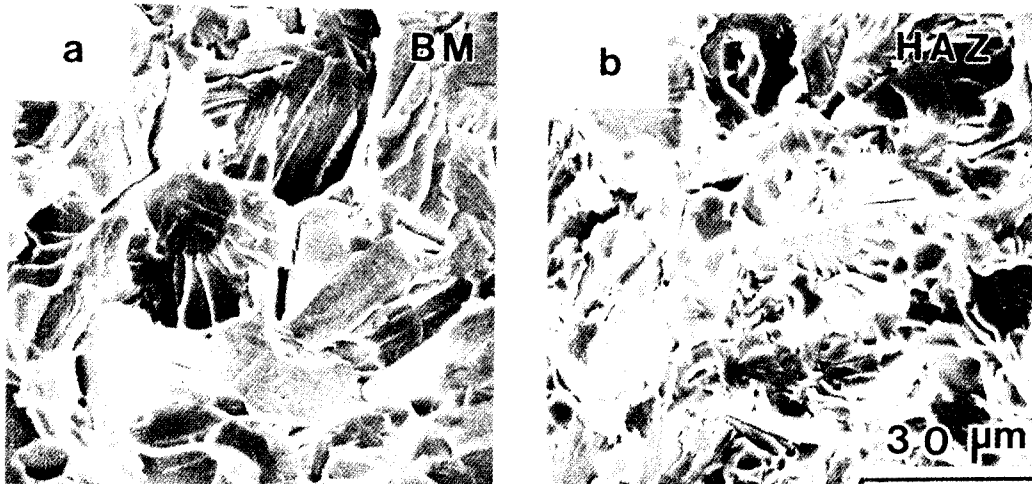


Fig. 9. SEM fractographs of brittle specimens having their notches at (a) base metal and (b) HAZ.

노치 위치에 따른 Narrow Gap용접부의 인성 변화

속이라도 위치에 따라 (CWM vs. QWM) 충격치에 있어서 커다란 차이를 보여주고 있는데 이는 Table 2에서 보여 주었듯이 미세조직의 양에 차이가 있기 때문이라고 가정할 수 있으며 이에 대해서는 아래에 보다 자세히 설명하겠다.

한편 Base metal과 HAZ의 연성, 취성전이온도를 비교한 것이 Fig. 8인데 여기서도 일반적인 경향과는 반대로 HAZ에서의 인성이 모재 보다 훨씬 좋아서 HAZ의 미세화된 조직의 영향을 그대로 반영하여 주고 있다. 특히 HAZ의 천이온도는 약 -100°C 로서 base metal의 천이온도보다 약 75°C 정도 낮아졌음을 알 수 있다. 이러한 천이온도의 저하는 바로 미세화된 조직의 직접적인 결과로서 이를 보다 확실히 보여 주기 위하여 취성 시편을 취하여 파면을 조사한 결과를 Fig. 9에 보여주고 있다. Fig. 9-a 모재시편을 -100°C 에서 Fig. 9-b는 HAZ시편을 -150°C 에서 시험한 시편의 파면을 Scanning electron microscope (SEM)로 관찰한 파면 사진들이다. 각 부위에서의 facet size를 비교해 보면 HAZ에서가 모재에 비해 훨씬 작음을 알 수 있는데 이는 HAZ의 조직이 그만큼 미세하다는 사실을 반영하는 것이다. Fig. 7과 8을 종합하여 노치 위치 및 시험온도에 따른 충격치의 변화를 보여주는 것이 Fig. 10으로서 -20°C 에서는 모든 부위에서 $15\text{kg}\cdot\text{m}$ 이상의 높은 충격치를, 특히 HAZ에서는 $30\text{kg}\cdot\text{m}$ 에 가까운 높은 충격치를 보여주고 있다. 시험온도가 -60°C 로 내려가면서 모재와 용착금속 중앙부는 brittle하게 되어 낮은 충격치를 보여주고 있지만 그외의 다른 부위는 -20°C 에서와 비슷한 높은 충격치를 유지하고 있어 아직도 upper-shelf region에 있음을 알 수 있다. 시험온도가 더욱 낮아져서 -100°C 에 도달하면 HAZ를 제외한 모든 부위가 brittle해지고 HAZ도 천이상태에 놓이게 된다. 이와 같이 천이온도가 노치 위치에 따라 변화하는 것은 앞서서도 언급하였듯이 조직의 미세화된 정도와 직접적인 관계가 있는데 각부위에 대하여 조직의 미세화된 양과 천이온도와의 관계를 도표화한 것이 Fig. 11이다. HAZ에서는 모재의 열영향을 받아서 100% 미세화된 조직이 됨으로 인하여 천이온도가 약 70°C 감소하게 되고, 용착금속에서도 조직의 미세화정도가 증가함에 따라 천이온도가 감소하게 되는데 CWM, QWM의 경우를 비교해 볼때 미세화된 조직이 47%에서 62%로 증가함에 따라 천이온도는 30°C 정도 감소하였다.

이와같은 실험결과를 종합하여 볼 때 Narrow gap 용접부의 인성분포는 용착금속 중앙부에서 최소의

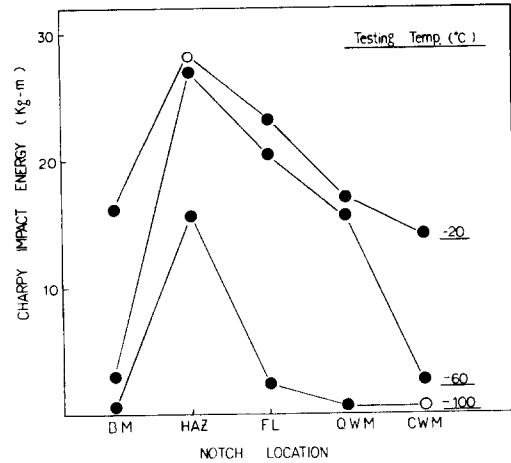


Fig. 10. Variation of Charpy impact values depending on the notch locations and the testing temperatures.

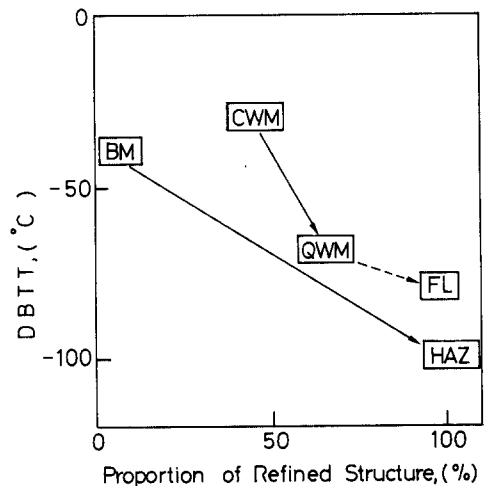


Fig. 11. DBTT variation with the proportion of refined structure. The notations shown in this figure stand for the notch locations shown in Fig. 2.

인성치를 가지는 반면 HAZ 및 fusion line에서 높은 인성치를 갖게된다고 할 수 있다.

이는 V나 X 개선으로 행한 용접부, 특히 single pass인 경우 HAZ나 fusion line에서 최소의 충격치를 보여 주는 일반적인 경향과는 아주 상반되는 것이라 하겠다. 또한 Narrow gap용접부의 경우, 같은 용착금속부라 하더라도 추후 pass에 의해 미세화된 정도에

따라 국부적으로 상이한 인성치를 나타냄으로써 용착 금속의 중앙부위에서도 용접조건을 조정하여 미세화된 조직의 양을 증가시키면 인성의 향상을 쉽게 얻을 수 있다는 결론을 얻을 수 있다. 따라서 위에서 지적한 미세조직의 양을 최대로 할 수 있는 용접조건 의 최적화에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

4. 결 론

Narrow gap weldment에서는 용착금속중앙부에서 최소의 인성치를 갖고 Fusion line쪽으로 다가감에 따라 인성은 향상하게 되고, HAZ는 모재에 비해 커 다만 인성의 향상을 보여주고 있는데 이와같이 인성의 향상이 방향성을 가지고 있는것은 Narrow gap welding이 "one pass/layer"라는 적층방법을 사용함으로써 열영향에 의한 조직의 미세화가 fusion line이나 HAZ에서 최대가 되고 용착금속의 중앙부에서 최

소가 되기 때문이다.

참 고 문 헌

1. R. P. Meister and D. C. Martin, *Narrow-Gap Welding 9 Process*, British Welding Journal, vol 13. No. 5, (1966), pp. 252-257.
2. S. Sawada, *Application of Narrow-Gap Process*, Welding Journal, vol. 58. No. 9, (1979), pp. 17-25.
3. V. Y. Malin, *The State-of-the-Art of Narrow Gap Welding Part I*, Welding Journal, vol. 62. No. 4, (1983), pp. 22-30.
4. V. Y. Malin, *The State-of-the-Art of Narrow Gap Welding Part II*, Welding Journal, vol. 62. No. 6, (1983), pp. 37-46.

科學技術者 倫理要綱

現代的 國家發展에 미치는 科學技術者의 役割의 重要性에 비추어 우리들 科學技術者는 우리들의 行動의 指針인 倫理要綱을 아래와 같이 制定하고, 힘써 이를 지킴으로써 祖國의 近代化에 이바지 할 것을 깊이 銘心한다.

1. 우리들 科學技術者는 모든 일을 最大限으로 誠實하고 公正하게 處理하여야 한다.
2. 우리들 科實技術者는 恒常 專門家로서의 權威를 維持하도록 努力하며 自己가 所屬하는 職場 또는 團體의 名譽를 昂揚하여야 한다.
3. 우리들 科學技術者는 法律과 公共福利에 反하는 어떠한 職分에도 從事하여서는 안되며, 의아스러운 企業體에 自己의 名稱을 빌려주는 것을 拒絶하여야 한다.
4. 우리들 科學技術者는 依賴人이나 雇傭主로부터 取得 또는 그로 因해 얻어진 科學資料나 情報에 對하여서는 秘密을 지켜야 한다. 또한, 他人의 資料 情報를 引用할 때는 그 出處를 밝혀야 한다.
5. 우리들 科學技術者는 誇張 및 無限한 發言과 非權威的 또는 眩惑的 宣傳을 삼가야 하며 또 이를 制止하여야 한다. 特히 他人의 利害에 關係되는 評價, 報告 및 發言에는 慎重을 期하여야 한다.
6. 우리들 科學技術者는 어떠한 研究가 그 依賴者에게 利益이 되지 않음을 아는 경우에는 이를 미리 알리지 아니하고는 어떠한 報酬를 위한 研究도 擔當하지 않는다.
7. 우리들 科學技術者는 祖國의 科學技術의 發展을 위하여 最大限으로 奉仕精神을 發揮하여야 하며 또한 이를 위한 應分의 物質的 協助을 아껴서는 안된다.