

## 特別講演

大韓熔接學會誌  
第1卷第1號 1983年8月  
Journal of the Korean  
Welding Society  
Vol. 1, No. 1, Aug., 1983

## 熔接構造物の不整量에 대하여\*

藤 田 讓\*\*

熔接構造物에는 必然的으로 熔接에 의해서 생기는 不整量이 존재한다. 熔接에 의해서 建造되는 船體構造에 있어서도 misalignment를 비롯하여 과대한 gap, 패널(panel)의 初期變形, 熔接에 의한 收縮과 같은 不整量이 존재하여 船殼 블록의 精度와 船體 強度에 영향을 주게 된다. 그래서 日本에서는 建造되는 鋼船의 品質을 高度로 유지하면서 工數를 減 수 있는 한 줄이기 위하여 理論과 實績이 뒷받침된 信賴度가 높은 品質標準을 設定하는 것이 필요하다고 판단하여 1964년에 「日本鋼船工作法標準, Japan Shipbuilding Quality Standard (JSQS)」<sup>1,2)</sup>를 制定하였다.

그 내용에는 素材, 現圖, 內容 加工部材, 組立 블럭, 船型確保, 다듬질, 變形量 등 주로 工程順에 따라 各 區分을 정한 項目마다 標準範圍와 許容 限界가 표시되어 있다.

지금부터 熔接에 의한 不整量의 代表例로서, 熔接에

의한 變形과 殘留應力, 이음에서의 gap과 misalignment에 대하여 말하고 아울러 不整量과 JSQS와의 관계에 대해서도 간단히 말하겠다.

## 1. 熔接에 의한 變形과 殘留應力

Fig. 1은 典型的인 熔接으로 인한 面板의 變形을 보인 것이다. 鋼板과 鋼板을 소위 fusion weld에 의하여 接合시키면 이음부는 高溫으로 加熱되고 그 후에 室溫까지 冷却하게 된다. 따라서 熔接部는 膨脹하고 나서 收縮한다. 이와 같이 膨脹 收縮을 할 때에 필연적으로 스트레인이 발생하고 面板은 變形을 하게 된다.

예를 들어 Fig. 2와 같이 周圍를 補強材로 補強한 面板의 初期 처짐에 대하여 생각해 보기로 하자. 周圍를 補強한 熔接시키기 때문에 그 面板에는 Fig. 3과 같은 殘留應力이 發生한다.<sup>3,4)</sup> 板이 얇을 경우에는 이 殘留應

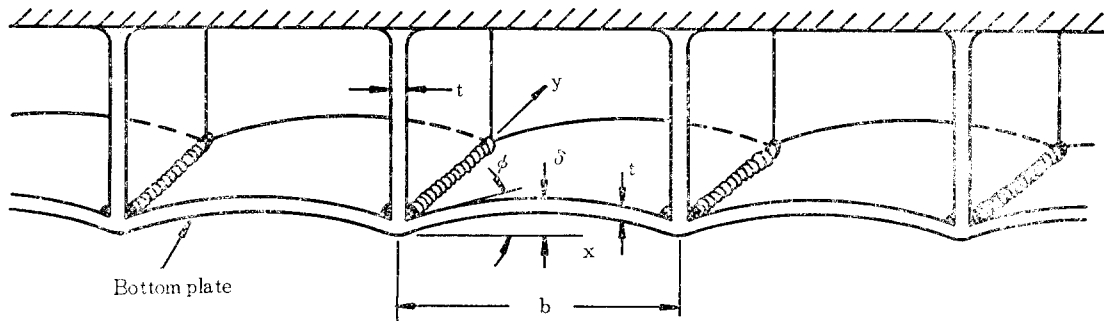
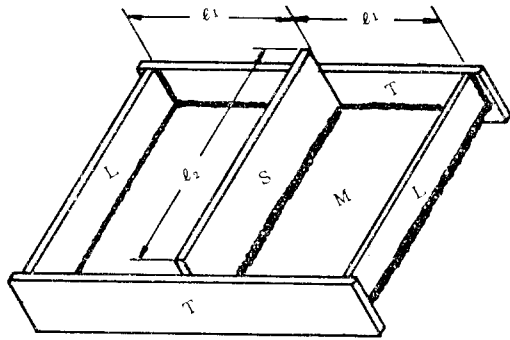


Fig. 1. Angular changes at fillet weld cause distortion of plating

\* 이 特別 講演은 1982. 10. 22 創立總會를 紀念하여 이루어진 것임.

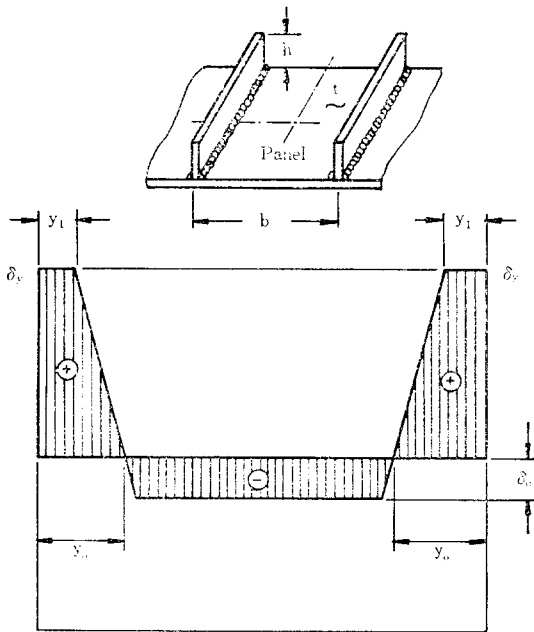
\*\* 日本 熔接學會 會長, 東京大學 教授



M: 母板 T: 橫拘束材 C: 보강재 L: 縱拘束材

Fig. 2. 종횡 구속을 했을 때 필렛이음

力에 의하여 外部에서 힘을 전혀 가하지 않아도, 즉 荷重을 전혀 작용시키지 않았음에도 불구하고 座屈을 일으키게 된다. Fig. 4<sup>5)</sup>는 그와 같은 예로서 入熱量이 ④와 ⑤이고  $b/t$ 가 100이상일 때 計算上으로는 外力이 負로되어 自動的으로 座屈하게 되는 것으로 나타나 있다.



$$\begin{aligned} \bar{y}_0 &= y_0 / (b/2) \\ \bar{y}_1 &= y_1 / (b/2) \\ T_{av} &= QP / c_p (b/2)t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{y}_0 &= 3.05 \times 10^{-3} T_{av} + 1.4 \times 10^{-2} \\ \bar{y}_1 &= 1.45 \times 10^{-3} T_{av} - 0.3 \times 10^{-2} \\ \bar{\sigma}_c &= \sigma_c / \sigma_y = -(2.40 \times 10^{-3} T_{av} + 0.5 \times 10^{-2}) \end{aligned}$$

Fig. 3. 용접에 의한 잔류응력

또 그림에 표시되어 있는 점들은 實船인 car carrier에 대한 예로서 당연히 座屈이 發生하고, 座屈로 인한 初期 처짐을 矯正하는 것은 대단히 困難하다는 것을 豫想케 한다.

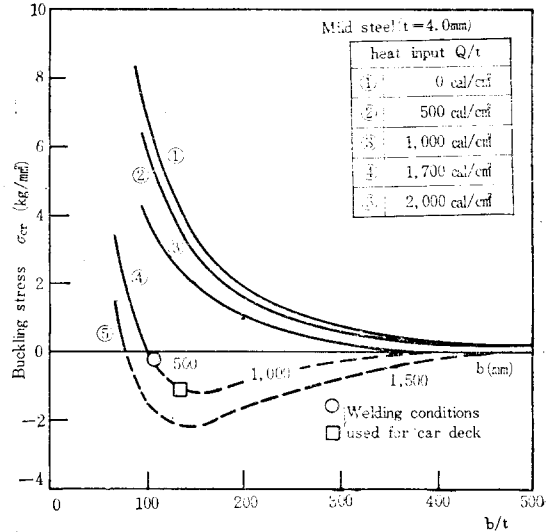


Fig. 4. Buckling strength of square plates with residual stresses (mild steel)

편달인 경우에는 殘留應力 이외에도 Fig. 5에서 보는 바와 같이 필렛 熔接에 의해서 角變形이 發生한다. (b)의 경우는 소위 bead on plate로서 板위에 bead를 놓고 있지만, 이 경우에는 잘 알려진 바와 같이 어떤 一定한 熱量에서 最大의 角變形이 얻어진다(Fig. 6참조). 이것은 入熱量이 증가하면 一般적으로는 角變形도 증가하지만 이것은 板 두께 방향에서의 溫度 分布의 差에서 發生하는 收縮量의 差가 角變形을 일으키기 때문이고, 入熱量이 너무 크게 되면 熱이 板 두께를 貫透하여 板 두께 방향에서는 均일하게 되기 때문에 面內에서의 收縮量은 증대하지만 角變形은 오히려 發生하기 어렵게 되는 것이다.

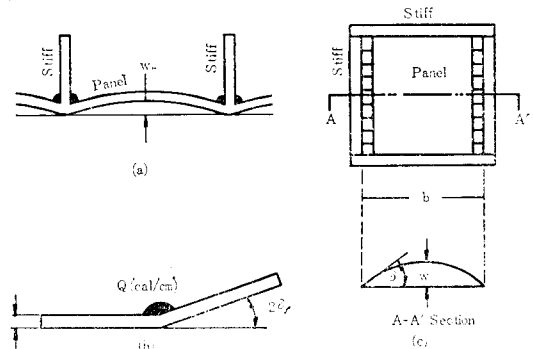


Fig. 5. 필렛 용접과 패널의 각변형

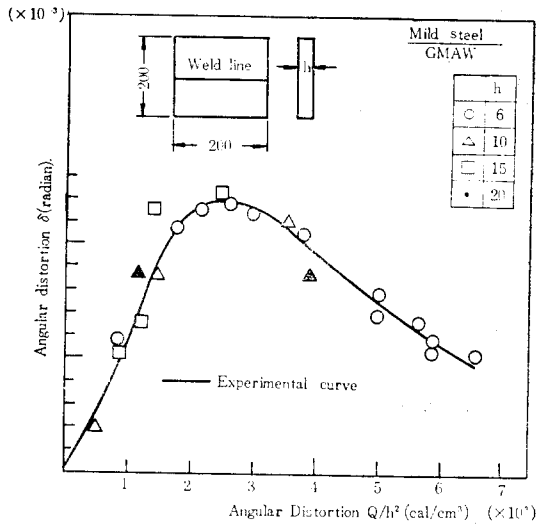


Fig. 6. Effect of heat input parameter  $Q/h^2$  on welding deformations of mild steel

Fig. 2에 표시한 패널의 中央에서의 初期 처짐을 推定하기 위해서는 Fig. 7의 流通圖와 같이, 먼저 위에서 말한 角變形에 의한 처짐을 計算하고, 또 發生하는 殘留應力을 推定하여 그 殘留應力에 의한 附加 처짐량을 計算하면 된다.<sup>6)</sup>

이와 같은 計算 順序에 따라서 計算한 것과 實驗과를 比較한 例<sup>6)</sup>가 Fig. 8과 Fig. 9이다.

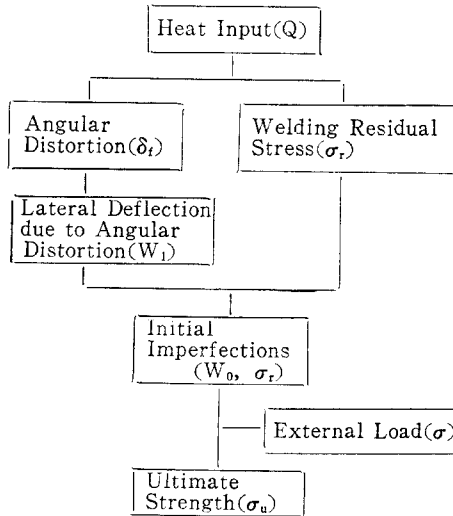


Fig. 7. 부가 처짐 계산을 위한 유통도

Fig. 10에는 이와 같이 해서 구한 計算値와 後述하는 JSQS의 패널의 變形에 대한 許容値와의 比較가 표시되어 있다. 그 傾向은 잘 일치하고 있다.

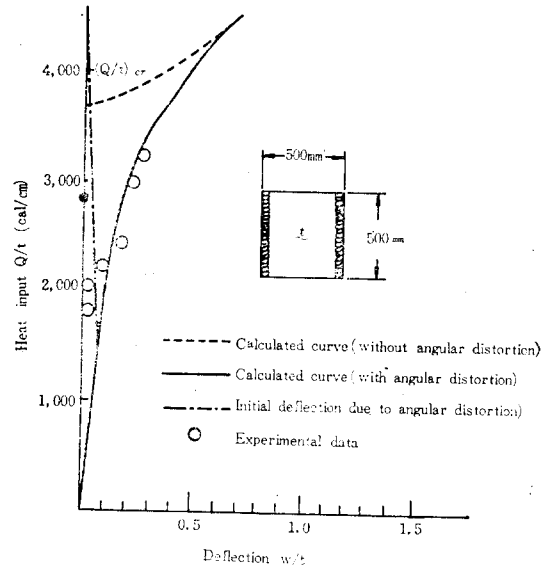


Fig. 8. Relation between welding heat input and maximum deflection(500×500×6)

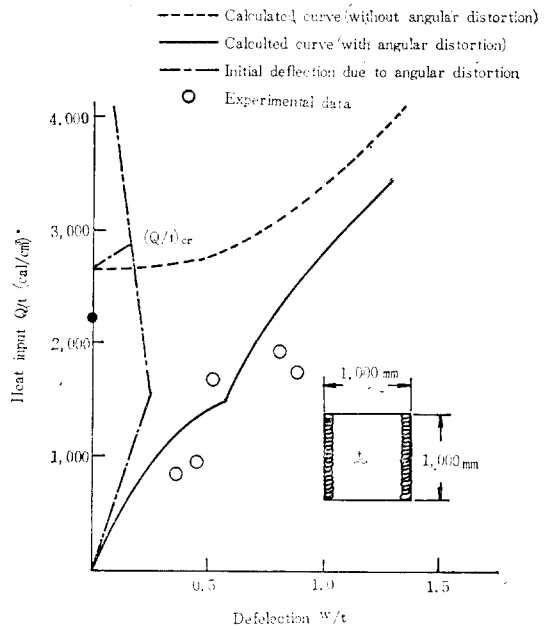


Fig. 9. Relation between welding heat input and maximum deflection(1000×1000×6)

이 그림 속에는 Faulkner 教授가 實測한 후리게이트艦의 船底 패널의 實測値 및 그 結果에서 구한 經驗式이 표시되어 있다.

또 일본의 高速道路橋의 처짐 許容值도 표시되어 있지만 어느 것이나  $b/t$ 가 增加함에 따라 增加하고 있다. 이것은 板 두께가 얇아지든가 패널의 幅이 커지면 일반적으로는 패널 중앙의 처짐은 점차 증가하는 것을 의미하며 經驗과 일치한다.

그림에서 Merrison Committee 라고 표시되어 있는 것은 1970年代 初에 架設中인 長大箱型橋의 落橋事故가 유럽과 미국에서 계속하여 發生하게되자 영국의 Merrison氏를 中心으로 Committee가 만들어져 落橋事故를 調査하여 방대한 報告書<sup>7)</sup>를 작성하였는데, 그 가운데서 상자형보(Box Girder) 패널의 初期 처짐의 許容 限界로서 주어진 것이 이 곡선이다.

이 報告書에서는 이들 落橋事故의 중요한 原因의 하나로서 패널의 初期 처짐을 強度計算에 考慮하지 않았다는 것을 지적 하고 있다.

Fig. 11과 Fig. 12는 初期 처짐이 있는 정방형板의 面

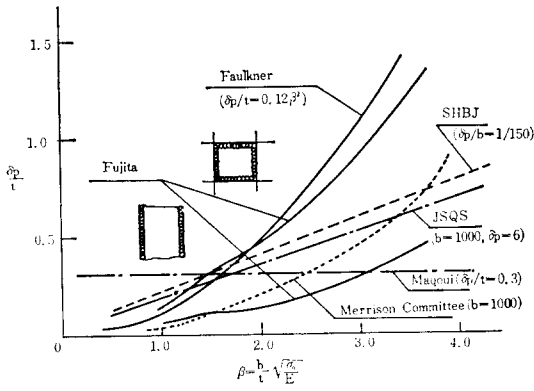


Fig. 10. 이 론치와 JSQS와의 비교

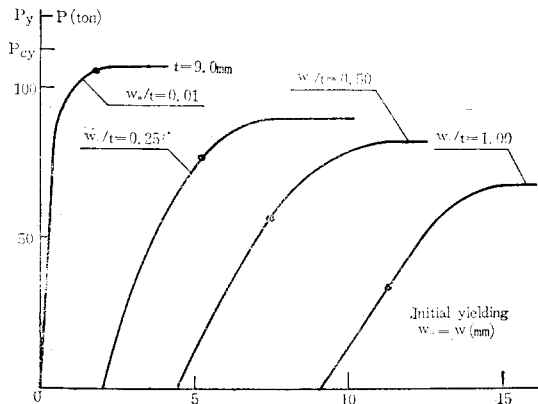


Fig. 11. Effect of the magnitude of initial deflection( $t=9.0mm$ )

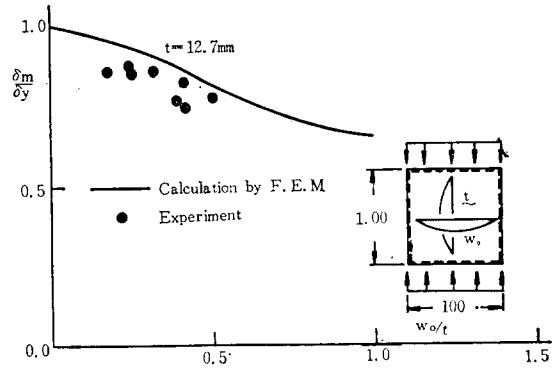


Fig. 12. Ultimate strength of 12.7mm thick-ness plates subjected to compression

內 壓縮試驗 結果와 計算例를 표시하고 있지만, 初期 처짐이 패널의 面內 壓縮強度를 현저하게 저하시키고 있다는 것을 알 수 있다. 그래서 이 初期 처짐을 制限할 필요가 있다고 해서 Merrison Committee의 提案이 나오게 된 것이다.

그러면 JSQS의 變形量(또는 처짐량)은 어떻게 해서 決定된 것인가. 그것은 Fig. 13, Fig. 14 및 Fig. 15에 그 一例를 표시한 것과 같이 實船의 實測을 근거로 하여 統計的으로 구한 것이고 理論的 근거는 없다. 바꾸어서 말하면 일본의 造船工作 技術水準을 나타낸 것이라고 할 수 있다.

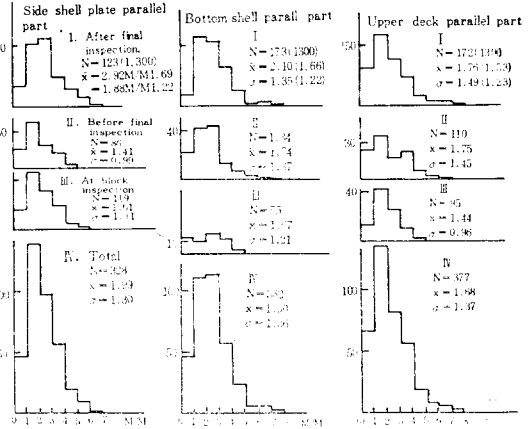


Fig. 13. Distribution of unfairness (number in ( ) referred to data of J. S. Q. S. 1971)

## 2. 熔接 이음에서의 不整量

가장 대표적인 것은 필렛 熔接에서의 gap과 misalignment 問題일 것이다.

項 目		標準範圍	許容限界
般 樓 甲 板	裸 部	4 mm	6 mm
	非 裸 部	7 mm	9 mm
上 部 構 造 甲 板	裸 部	4 mm	6 mm
	非 裸 部	7 mm	9 mm
室 壁	外 壁	4 mm	6 mm
	內 壁	4 mm	6 mm
	非 裸 部	7 mm	9 mm

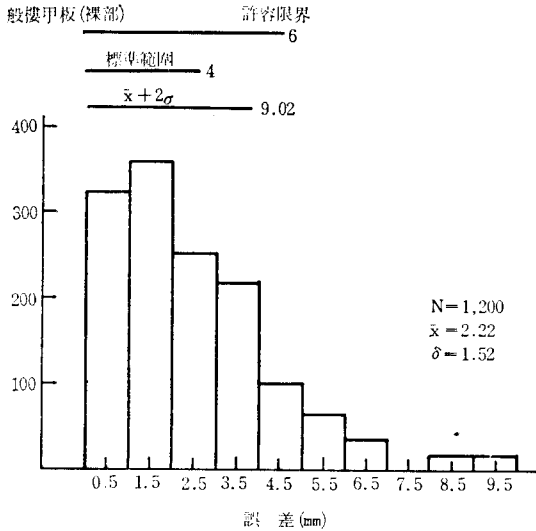


Fig. 14. Distribution of initial deflection in ship hull panel

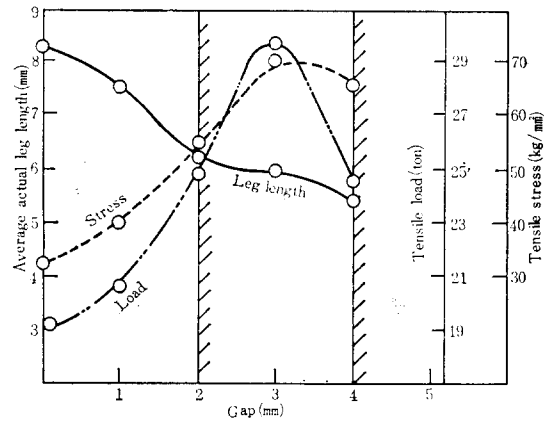


Fig. 16. Relation between strength and gap in fillet joint

Fig. 16과 Fig. 17은 gap이 있는 필렛 용접 이음의 強度를 표시하고 있고, 2~3mm程度의 Gap까지는 오히려 gap이 있는 편이 용입이 깊게 되고, 또 notch 효과가 減少하기 때문에 強度가 上昇하는 것으로 되어 있다. 이 사실에 따라서 JSQS에서는 Fig. 18에 표시한 것과 같이 3mm까지의 gap에 대해서는 불문에 부치고 있다. 이 사실은 국제적으로도 거의 인정이 되어 最近 各國에서 간행되고 있는 造船用 精度標準<sup>9)</sup>에서도 Fig. 19에서 보는 바와 같이 gap에 대해서 日本의 標準에 통일시키고 있는 듯 하다.

misalignment에 대해서는 Fig. 18과 Fig. 20에서

Division		Deformation			unit: mm	
Section	Sub-section	Item	Standard Range	Tolerance Limits	Remarks	
Unfairness	Shell plate	Parallel part side	4	6		
		Parallel part bottom	4	6		
		Fore and aft part	5	7		
	Double bottom tank top plate		4	6		
	Bulkhead	Longl bulk head	Longl bulk head Trans bulk head Swash bulk head	6	8	
		Trans bulk head				
Swash bulk head						
Strength deck	Parallel part (Between 0.6L)	4	6			
	Fore and aft part	6	9			
	Covered part	7	9			

Fig. 15. Tolerance limits of ship hull

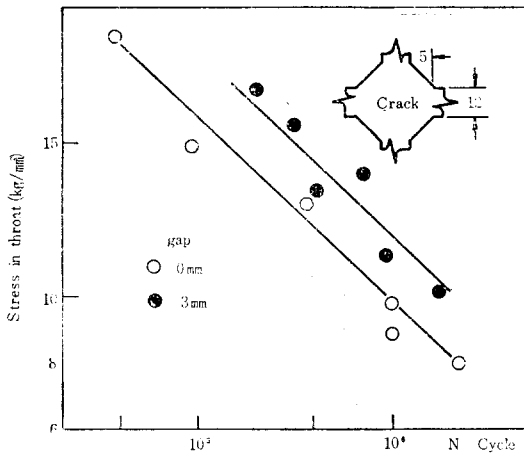


Fig. 17. Fatigue strength of cross joint

보는 바와 같이 板 두께의 1/2까지 許容하고 있고 이때의 強度는 misalignment가 없는 이음의 強度의 90%를 保證할 수 있다. 즉 船體는 항상 이 JSQS에 따라서 misalignment 양을 板 두께의 1/2이하로 유지시켜서 建造한다는 前提아래, 이음부는 misalignment가 없는 이음의 90%의 強度가 決定論的(deterministic)으로 保證되므로 強度設計를 실시하는 것이다. 이와 같은 관점으로부터 ignorance factor로 지금까지 安全率속에 포함시켜 왔던 製作上的 誤差를 明確히 할 수 있다. 따라서 安全率을 그 量만큼 적게 할 수 있어 보다 合理的이고 安全하며 가벼운 構造物이 設計 建造될 수 있게 된다. 이와 같이 精度(品質) 標準을 정하고, 그것에 의해서 建造함으로써 設計的으로는 보다 合理的이고, 品質이 安定된 製品을 만들어낼 수가 있을 것이다.

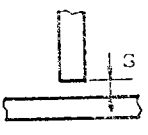
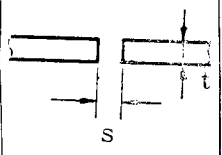
Comparison of Production Tolerances(mm)						
Item	U. S. A. Practice	Cerman Standard	Swedish Standard	French Standard	British Standard	Japanese Standard
1 Rolled or fabricated girders - Flange breadth - Flange angle - Straightness - Depth	±6.4 5% 0.25%	-5% + no limit ±5% -5% + no limit			0.1% or 3 which ever is the greater	±3 ±2.5% 0.1% ±3
2 Fillet weld gap 	S < 4.8	S ≤ 3 If: 3 < S ≤ 5 the fillet is increased	For weld ≥ 4 S ≤ 3 If: 3 < S ≤ 5 the fillet is increased	S ≤ 3 If: 3 < S ≤ 5 or locally 5 < S ≤ 7 the fillet is increased		S < 2
3 Butt weld gap 	S < 4.8		Square: S ≤ 3 or double V: S ≤ 4	t ≤ 5 S = 3 t ≤ 5 S = 5 t > 13 S = 6 (exceptionally 8 per short length)		(manual w.) 2 < S < 3.5

Fig. 19. Production tolerances

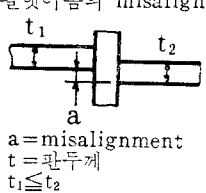
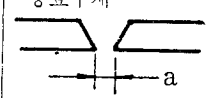
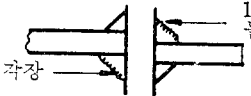

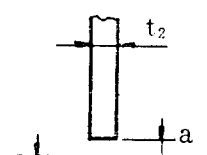
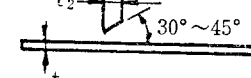


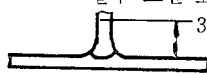

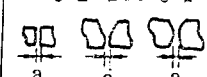
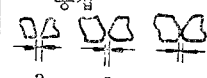
대 구 분		단 위 : mm			
中區分	소 구 분	항 목	표준범위	허용한계	비 고
取	모서리미스의 misalign 필렛미스의 misalign.  a = misalignment t = 관두께 t1 ≤ t2	중요부재 		$a \leq \frac{1}{3}t_2$	$\frac{1}{3}t_2 \leq a \leq \frac{1}{2}t_2$  10% 각장 늘림 a > 1/2 t2 取付수정
		기 타	$a \leq \frac{1}{3}t_2$	$a \leq \frac{1}{2}t_2$	a > 1/2 t2 取付수정
精 度	비임과 늑골의 어긋남	Beam Frame 	$a \leq 3$	$a \leq 5$	비임과 늑골의 熔接을 떼어내지 않고 잡아 당겨 붙여 용접할 수 있는 범위를 나타냄
		필렛 용접인 경우 	$a \leq 2$	$a \leq 3$	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 &lt; a ≤ 5 규정다리길이 + (a-2) 증가 다리 길이</li> <li>5 &lt; a ≤ 16 1) 홈 또는 2) 라이너 처리 홈 용접 요령  30°~45° 웨이브의 홈을 30~45°로 하고 받침쇠 용접한 후 받침쇠를 떼어 내고 뒷면을 용접함</li> <li>라이너 처리요령  5mm t2 ≤ t ≤ t1</li> </ul>
		취부시의 간격 			<ul style="list-style-type: none"> <li>16 &lt; a 1) 라이너 처리 또는 2) 일부교환 일부 교환 요령  300mm 이상</li> </ul>
		맞대기 용접인 경우 (손용접)	$2 \leq a < 35$	$a \leq 5$	<ul style="list-style-type: none"> <li>5 &lt; a ≤ 16 받침쇠 용접후 받침쇠를 떼어내고 뒷면 파기용접 </li> <li>16 &lt; a &lt; 25 덧붙임 용접 또는 모재일부 교환</li> <li>25 &lt; a 모재일부 교환</li> </ul>
		맞대기 용접(자동용접) 1. 양면 감호 용접 	$0 \leq a \leq 0.3$	$0 \leq a \leq 5$	용락의 염려가 있을 경우에는 뒷면 비이드 용접을 한다.
2. 수동용접 또는 탄산가스 용접 파의 혼용 감호 용접 	$0 \leq a \leq 3.5$	$0 \leq a \leq 5$	a > 5인 경우는 수동 맞대기 이음에 준한다.		

Fig. 18. welding procedure for misalignment

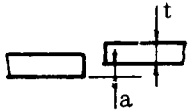
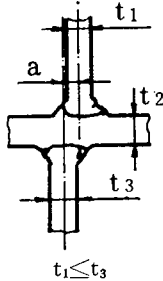
Comparison of Production Tolerances(mm)						
ITEM	U. S. A. Practice	German Standard	Swedish Standard	French Standard	British Standard	Japanese Standard
5-Gap between beam and frame	$S \leq 4.8$	$S \leq 5$	$S \leq 3$			$S \leq 5$
6-Butt Joint Misalignment 	$a < 3.2$	Strength members: $a < 0.15t$ $a \leq 4$ whichever the lesser or others: $a < 2$ $a < 0.15t$ whichever is greater	Strength members: $a \leq 0.2t$ Others: $a \leq \frac{1}{3}t$	$t < 10$ $a = 1$ $t < 20$ $a = 2$ $t > 20$ $a = 3$	$a \leq 0.15t$ $a \leq 3$ whichever the lesser	Strength members: $a \leq 0.15t$ (max 3) Others: $a \leq 0.20t$ (max 3)
7-Intercostal misalignment 	$a < 0.5t$	For $t_2 < t_3$ $a \leq 0.5t_1$ For $t_2 > t_3$ $a \leq 0.5t_2$	Strength members: $a \leq \frac{t_2}{4} + 3$ max $t_1/2$ Others $a \leq \frac{t_2}{4} + 3$	$a \leq t_3/2$		Strength members: $a \leq t_1/3$ Others $a \leq t_1/2$

Fig. 20. Production tolerance in several countries

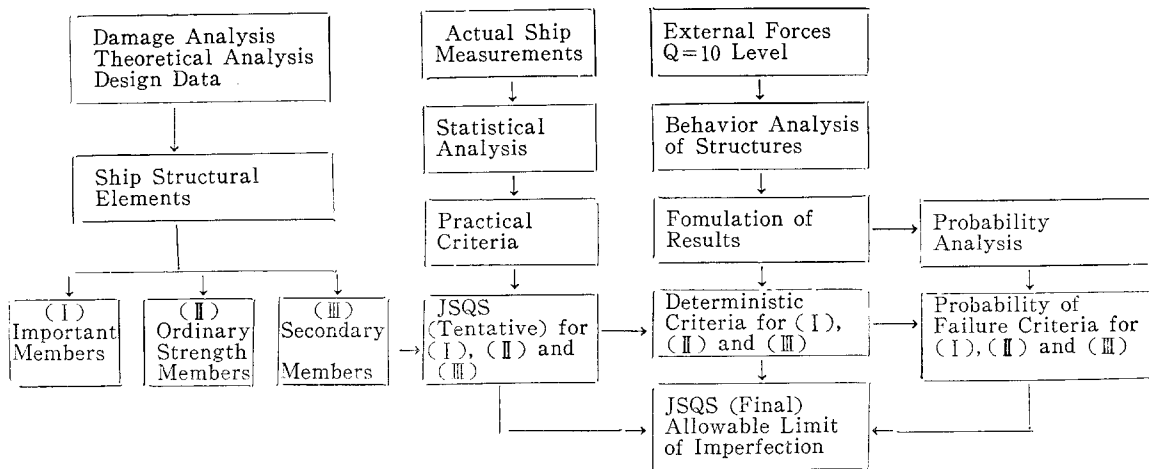


Fig. 21. Flow chart to determine allowable limit of imperfection



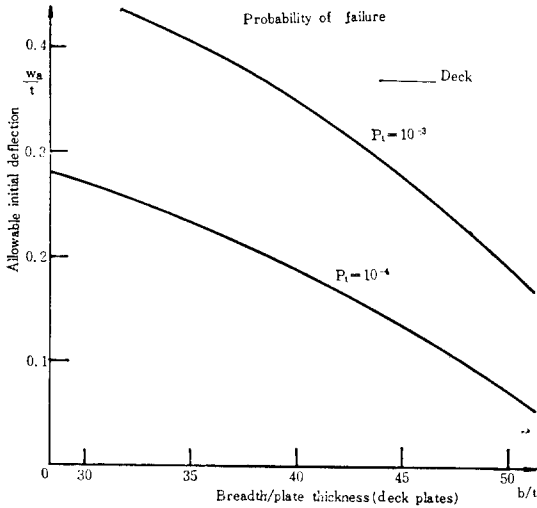


Fig. 22 Relationship between initial deflection and buckling damage

### 3. 精度標準

앞 절에서 말한 바와 같이 일반적인 精度標準으로서 는 그 制定 方法에 따라 3 가지를 생각할 수 있다. (Fig. 21 참조).

첫째는, 實際의 構造物에 대한 計測值를 바탕으로 現在의 工作技術 水準에 맞추어서 統計的으로 設定하는 가장 primitive한 方法이다. 둘째는, 예를 들면 理想的인 이음의 90%의 強度를 確保하기 위한 不整量은 그 이하가 아니면 안 된다고 하는 決定方法이다 (deterministic 方法). 셋째는, 破壞 또는 破損의 確率을 어느 일정의 水準으로 유지시키기 위해서는 不整量을 얼마로 하면 좋은가 하는 信賴性 解析에 의한 方法이다 (probabilistic 方法).

셋째의 例로 판넬의 初期 不整의 例를 들어보자. 9) Fig. 22는 船體의 甲板 판넬의 座屈損傷을 일으킬 確率과 初期 처짐량과의 關係를 計算한 예이지만, 예를 들면 破損의 確率을  $10^{-3}$  또는  $10^{-4}$ 이라고 하면 그림과 같은 曲線이 얻어진다. 여기서 注意하지 않으면 안 되는 것은 앞서 말한 Fig. 10과 비교할 때  $b/t$ 와 初期 不整量과의 關係가 Fig. 10에서는  $b/t$ 가 증가함에 따라 許容 初期 처짐량도 증대하고(實際의 처짐의 발생방법과 일치한다) 있는데 반해서 Fig. 22에는 역으로  $b/t$ 가 커질수록 許容 初期 처짐량이 감소하고 있어서 제작자에게

는 상당히 엄한 精度 標準이 된다. 그러나, 適當한 破損 確率을 갖도록 각 판넬을 設計하는 일은 構造物의 信賴性을 향상시키기 위해서는 꼭 필요한 일로서 장래의 精度 標準은 이 방향으로 나아가서 統一될 것이라 생각된다.

이상 熔接構造物에 發生하는 典型的인 不整量으로서 變形과 gap과 misalignment에 대해서 말하였지만 鋼構造物의 Productivity를 높이기 위해서는 理論이 뒷받침된 우수한 精度標準과 그 것을 實現시키는 品質管理 活動(Q.C. 活動)이 제일 중요하고 그와 같은 意味에서도 熔接構造物의 不整量에 관한 精度標準이 차차 完成되어 갈 것이 요망된다.

### 參 考 文 獻

1. 日本造船學會 鋼船工作法委員會, 日本鋼船工作法精度標準(*Japan Shipbuilding Quality Standard*), 1982.
2. 上同 解説編
3. 佐藤邦彦, 寺崎俊夫, “構造用材料의 熔接殘留應力·熔接變形におよぼす熔接諸條件의 影響,” 溶接學會誌 Vol. 45, No. 1. 1976.
4. 藤田讓, 野本敏治, 長谷川壽男, “熱彈塑性問題に關する研究(そのう),” 造船學會論文集, Vol. 144, 1978.
5. 藤田讓他, “薄板構造物의 熔接變形に關する研究(その 1-熔接による橫撓み變形に關する解析),” 造船學會論文集, Vol. 142, 1977.
6. 藤田讓, 野本敏治, 仁保治, “防撓板의 壓縮強度につひて(第2報-溶接にともなう 初期不整さを有する防撓板),” 造船學會論文集, Vol. 144, 1978.
7. Merrison Committee, “Inquiry into the Basis of Design and Method of Erection of Steel Box-Girder Bridges,” HMSO London, 1973.
8. Y. Fujita, “The 1982 Report of III·3 Technical Committee of International Ship Structures Congress,” *Proceedings of 8th ISSC Paris*, 1982.
9. SR·127 Comm. Report, “The Effect of Initial Deformation in Hull Elements of their Strength,” *The Shipbuilding Research Association of Japan*, 1975.