공용중 보수용접에 의한 용접부의 응력 및 변형의 거동

-인장력 작용중 균열보수용접에 의해 생기는 응력 및 변형의 거동-

Behavior of Stress and Deformation Generated by Repair Welding under Loading

장 경 호[1] · 이 상 형[2] · 전 준 태[3]

Chang, Kyong-Ho Lee, Sang-Hyong Jeon, Jun-Tai

요 약 : 차량하중의 증가 및 부식 등에 의해 손상된 강교량 구조물들은 보수·보강이 요구되어진다. 손상부재를 보수·보강하는 방법은 단면결손이 없다는 장점을 가진 용접에 의한 보수방법이 유리하다. 3차원 탄소성해석 결과를 토대로 공용중 보수용접에 의해 생기는 응력과 변형의 거동에 대해 연구하였다. 균열이 있는 부재에 하중만 작용할 경우 과도응력의 크기는 보수용접균열길이 및 균열깊이가 큰 순으로 크다. $80MPa(\sigma_y/3)$ 및 $140MPa(\sigma_a)$의 응력 작용시 보수용접에 의해 발생되는 응력의 크기는 무응력 상태에서 보수용접시 발생되는 응력의 크기와 하중재하에 의해 생긴 응력의 크기의 합과 비슷하다. 응력 작용시 보수용접에 의해 발생되는 용접선방향 인장과도응력 성분은 부재폭에 대한 균열길이비(l/b)가 커지면 커짐을 알 수 있다. 또한, 응력 작용시 보수용접에 의해 발생되는 용접선 직각방향의 면내수축변위의 크기는 보수용접길이가 긴순으로 크다.

ABSTRACT : It is much expected that steel bridges, which have been damaged by increase of vehicle load and corrosion, need repair or strengthening. In this paper, the stress generated by repair welding under loading are analyzed by three dimensional elasto-plastic analyses. The longer and deeper repair weld line becomes, the larger the magnitude of transient stress becomes. The magnitude of transient stress generated by repair welding under loading ($\sigma_y/3$, σ_a) is similar to summation of stresses generated by repair welding and loading. The longer repair weld line ratio(l/b) becomes, the larger the magnitude of transient stress generated by repair welding under loading bocomes. And, the longer repair weld line ratio(l/b) becomes, the larger the magnitude of in-plane displacement generated by repair welding under loading($\sigma_y/3$, σ_a).

핵 심 용 어 : 과도응력, 변형, 면내변위, 보수용접

KEYWORDS : Transient Stress, Deformation, In-Plane Displacement, Repair welding

1) 정회원, 중앙대학교 건설환경공학과 전임강사
2) 중앙대학교 토목공학과 박사과정
3) 정회원, 인하공업전문대학 토목과 조교수

본 논문에 대한 토의를 2000년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 토의 회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 강교량이나 선박과 같은 용접구조물에 있어서 여러 가지 환경요인에 의한 균열, 부식 등의 문제가 다수 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하는 보수·보강 방법으로서 균열의 경우, 스톱홀을 설치하여 균열의 진전을 막거나, 균열부를 용접에 의해 재용융하는 방법을 사용한다.[1] 그리고, 손상단면이 비교적 큰 경우에는 손상부위를 절단하여 볼팅이나 용접에 의해 신판으로 교체한다. 이중 스톱홀의 설치나 볼트에 의한 신판교체 등의 작업은 단면 결손으로 인해 국부적인 응력집중이 발생하는 등의 단점이 있어, 용접에 의한 보수방법이 사용되어진다. 그러나, 용접에 의한 보수·보강방법은 작업중 안전성 즉, 인장에 의한 부재의 파단, 좌굴에 의한 붕괴, 과도한 변형[2~4] 및 작업중 응력의 발생으로 구조물의 안전성 및 내하력 측면에서 그 신뢰성이 확립되어 있지 않은 것이 현실이다. 이로 인해 보수·보강 용접시에는 교통 통제 및 staging등의 가지점을 사용해 하중을 경감시키는 작업들이 행해지고 있다.

본 연구에서는 공용중 보수용접시 발생하는 응력의 거동을 파악하기 위한 기초적 연구로서 가장 단순한 모델인 균열을 가진 판에 인장력이 작용하는 것으로 상정하여 3차원 탄소성 해석[5~6]을 수행하였다. 또, 그 결과를 토대로 부재에 생기는 응력의 거동 특성을 검토함으로서 실제의 복잡한 하중이 작용하는 상태에서 강구조물의 보수 용접중 안전성 및 내하력에 대한 신뢰성을 판단하기 위한 기초적 자료의 축적을 기하고자 하였다.

2. 3차원 탄소성 해석의 이론적 배경

기하학적 비선형 및 재료의 물리적 제성질의 온도의존성을 고려한 재료학적 비선형을 고려하였다. 8절점 Isoparametric 입체 유한요소를 도입하였으며, 기본식은 아래와 같다.

2.1 변위-변형률 관계식

요소의 전변형율

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_x\ \varepsilon_y\ \varepsilon_z\ \gamma_{yz}\ \gamma_{zx}\ \gamma_{xy}\}^T$$

$$\{\varepsilon\} = \{\varepsilon_o\} + \{\varepsilon_L\} \qquad (1)$$

여기서 $\{\varepsilon_o\}$와 $\{\varepsilon_L\}$는

$$\{\varepsilon_o\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \partial u/\partial x \\ \partial v/\partial y \\ \partial w/\partial z \\ (\partial w/\partial y) + (\partial v/\partial z) \\ (\partial u/\partial z) + (\partial w/\partial x) \\ (\partial v/\partial x) + (\partial u/\partial y) \end{Bmatrix}$$

$$\{\varepsilon_L\} = \begin{Bmatrix} \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \\ \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2 \\ \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 \\ 2\left(\frac{\partial u}{\partial y}\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial y}\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}\frac{\partial w}{\partial z}\right) \\ 2\left(\frac{\partial u}{\partial z}\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z}\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z}\frac{\partial w}{\partial x}\right) \\ 2\left(\frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial x}\frac{\partial w}{\partial y}\right) \end{Bmatrix}$$

$\{\varepsilon\}$을 증분형으로 나타내면,

$$\{d\varepsilon\} = [B]\{dw\} \qquad (2)$$

$[B]$: 변위-변형율 매트릭스

2.2 응력-변형률 관계식

응력-변형율 관계식은 증분형으로 다음 식처럼 쓸 수 있다.

$$[d\sigma] = [D_d][d\varepsilon\} - \{c\}dT \qquad (3)$$

여기서, $[D_d]$: 탄성의 경우 $[D^d_e]$와 , 소성의 경우 $[D^d_p]$로 분리된다.

$\{c\}$: 재료의 물리적 제성질의 온도의존성을

2.3 평형방정식

유한요소의 절점력 과 절점변위 $\{dw\}$와의 평형방정식을 가상일의 원리를 적용하면 다음과 같은 식이 된다.

$$\{dF\} + \{L\} - \{dR\} = [K]\{dw\} \qquad (4)$$

여기서,

$[K]$: 요소의 구성 매트릭스

$\{dF\}$: 외력에 의한 요소의 등가절점력 증분

$\{L\}$: 하중 수정항

$\{dR\}$: 온도변화에 의한 요소의 등가절점력 증분

식 (4)는 요소에 대하여 구하는 것이다. 따라서, 이것을 계 전체에 대하여 구성해서, 경계조건을 고려해 연립 일차 방정식을 풀면, 절점 변위 증분 $\{dw\}$이 구해진다.

절점 변위 증분이 구해지면, 변위-변형율 관계식으로부터 요소의 변형이 계산되고, 그리고, 구성 방정식으로부터 응력을 계산할 수 있게 된다.

3. 해석조건

3.1 해석모델과 용접조건

실제 균열은 기하학적 불연속면, 용접 결함부, 국부적 부식면 등 발생부재의 형상 및 치수 그리고 발생위치가 다양하다. 이에 본 연구에서는 강구조물에서 플렌지, 웨브 등 인장력을 받는 부재 혹은 인장력이 작용하는 평판을 그 대상범위로 하였다. 그래서, Fig 1과 같은 $1200mm \times 240mm \times 6mm$크기의 평판에 판의 부재폭에 대한 균열길이비가 Table 1에 보인 것과 같이 되도록 균열을 상정하여 5가지 해석모델(Type I, Type II, Type III, Type IV, Type V)을 설정하였다. 용접조건은 기본적인 응력의 거동을 파악하기 위해 다패스 용접을 해야하는 후판보다는 1패스

Table 1. Repair Welding Model

해석 모델 / 용접 조건	Type I	Type II			Type III	Type IV	Type V
		Type II-1	Type II-2	Type II-3			
균열 길이비 (l/b)	0.08	0.17	0.17	0.17	0.25	0.42	0.5
균열 깊이비 (d/t)	1	0.33	0.67	1	1	1	1

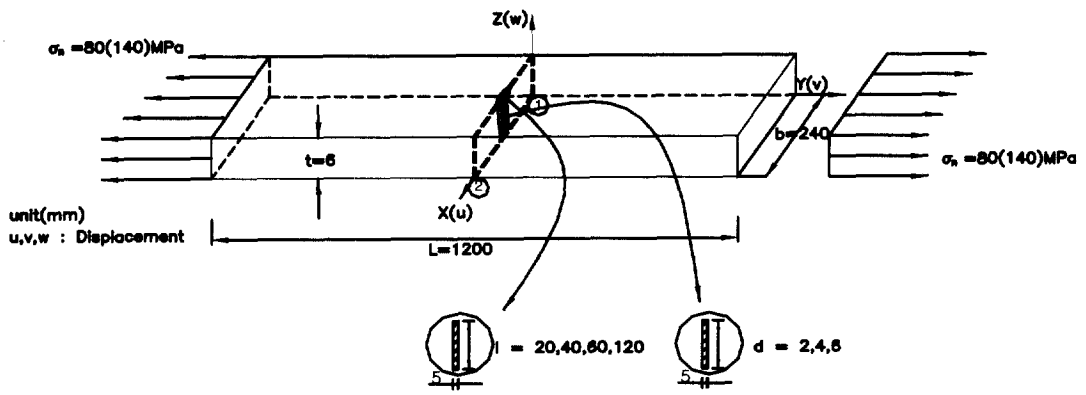
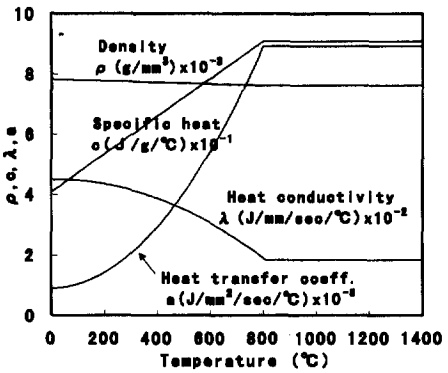
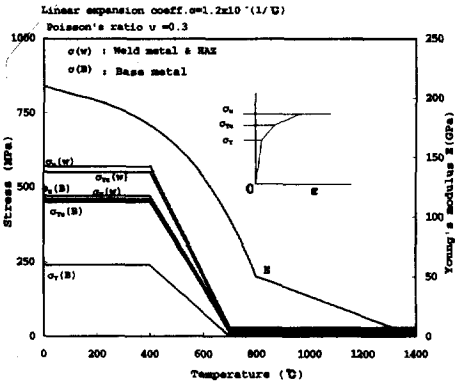


Fig 1. Repair Welding Model



(a) Physical Constants



(b) Mechanical Properties

Fig 2. Material Constants

에 용접이 가능하도록 판 두께를 정하였으며, Q= 1300(J/mm)의 입열량과 v=5(mm/sec)의 용접 속도로 보수용접하는 것으로 설정하였다. 또한, 사용된 재료는 SS400이고 Fig 2에 나타낸 것과 같은 재료의 물리정수 및 기계적 제성질의 온도 의존성을 고려하여 3차원 열탄소성 유한요소 해석을 수행했다. 그리고, 공용하중(σ_n)은 보수용접선 직각방향(y방향)으로 항복응력의 1/3 ($\sigma_y/3$)에 해당하는 80MPa 및 허용인장응력(σ_a)에 해당하는 140MPa을 보수용접과 동시에 재하시켰다. 또한, 구속조건으로는 Fig 1의 ①과 ② 점을 구속하였다. 여기서, ①점은 x,y,z방향, ② 점은 y,z방향을 구속시켰다. 이와 같은 구속조건은 대상모델의 강체운동만을 구속시킬 뿐이며, 3차원 문제에서 하중재하에 따른 수축팽창을 구속하지 않기 위해서이다.

3.2 온도분포

3차원 탄소성 유한요소 해석에 있어서 보수용접에 의해 열이 온도하중으로서 작용해야 하므로 우선 입열에 의한 온도이력을 구하기 위해 3차원 비정상 열전도 해석을 수행하였다. 그 결과중 한 예를 Fig 3에 나타내었다. 3차원 비정상 열전도 해석을 통해 얻어진 시간에 따라 변하는 절점온

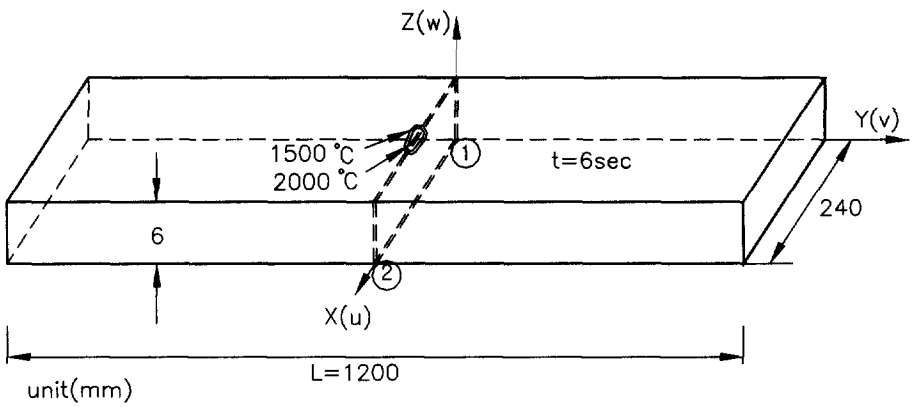


Fig 3. Temperature Contour

도 이력을 평판에 작용하는 온도하중으로 설정하고 3차원 탄소성 유한요소해석을 수행하였다. 여기서 사용된 3차원 비정상 열전도 해석 및 3차원 탄소성 유한요소해석은 참고문헌 [5] 및 [6]에서 검증되었다. 여기서 t는 보수용접이 진행된 시간을 나타낸다.

4. 응 력

응력 작용하의 보수용접시 응력거동을 파악하기 위해 다음의 3가지 경우에 대하여 해석을 수행하였다.

Case A : 무응력 상태에서 보수용접만 수행하는 경우

Case B : 부재에 응력만 작용하는 경우

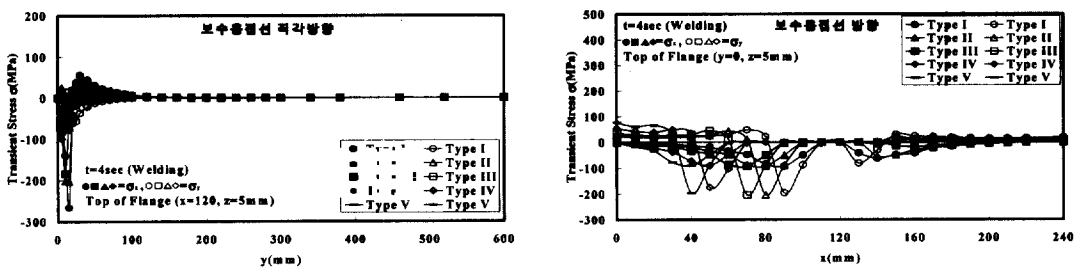
Case C : 응력작용하에서 보수용접을 수행한 경우

그리고, 균열길이 및 균열 깊이가 다를 때 각각 용접선 방향과 용접선 직각방향의 과도상태 (t=4sec) 응력에 주목하였다. 여기서, t=4sec에서의 과도상태 응력에 주목한 것은 Type II는 t=4sec일 때 용접열원이 균열길이 중앙부(x=120mm)에 도달하게 된다. 균열길이가 다른 경우와 이때의 응력 거동을 비교 검토하기 위해서 Type II의 용접열원이 균열길이 중앙부에 도달한 때의 입열량과 작용하중이 같은 때(t=4sec)에 주목하였다.

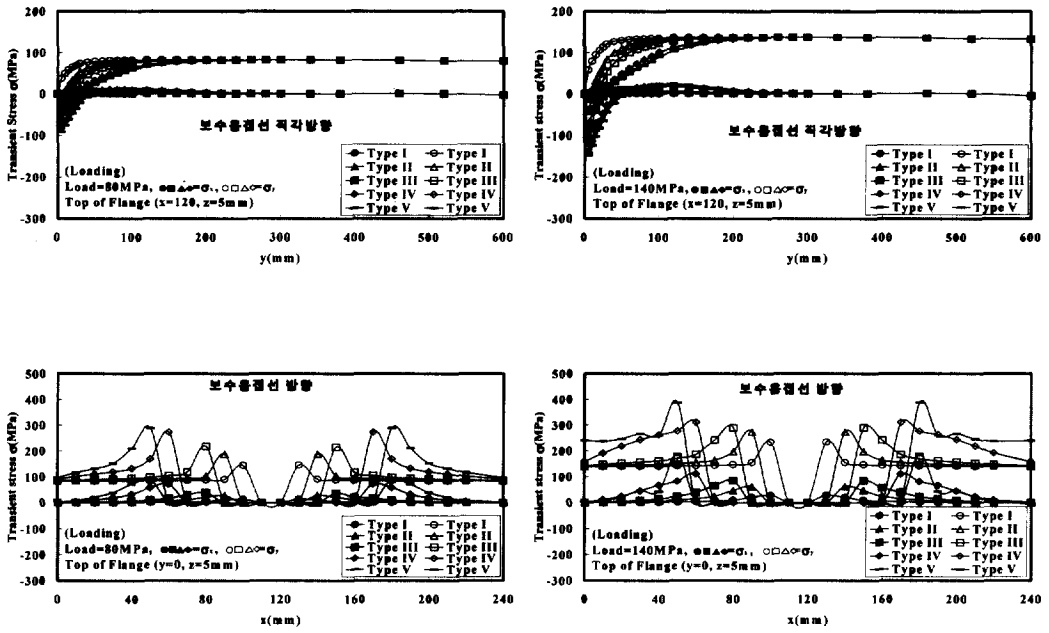
4.1 균열 길이가 응력에 미치는 영향

Case A, B, C에 대하여 평판 상단(x=120, z=5mm)의 보수용접선 직각방향에서 가장 크게 발생되는 응력성분(σ_x) 및 보수용접선 방향에서 가장 크게 발생되는 응력성분(σ_y)에 주목하여 Fig 4에 나타내었다.

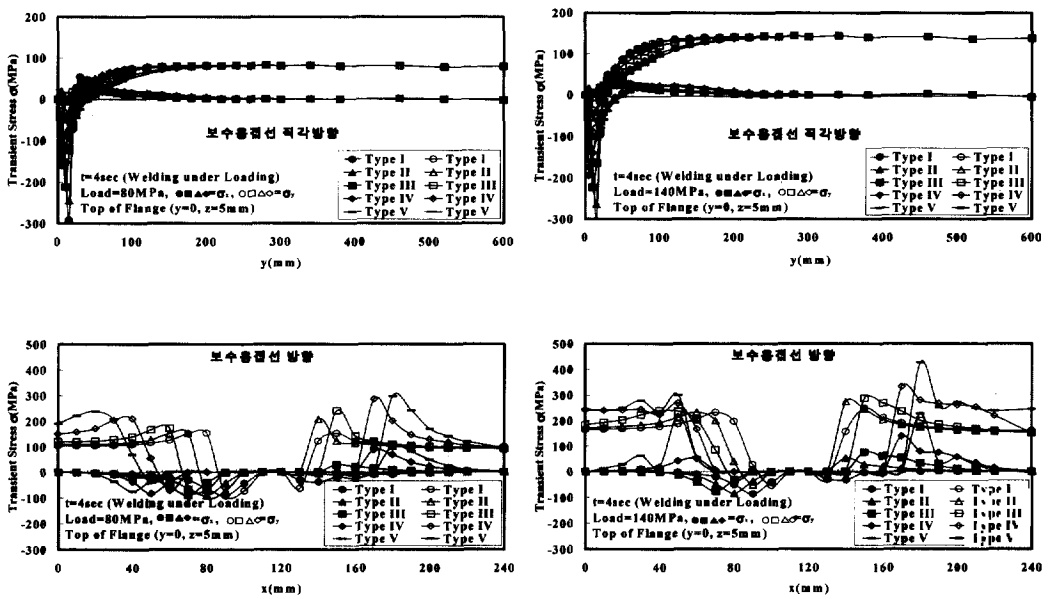
우선, 보수용접선 직각방향의 접합부에 발생하는 압축과도응력 성분(σ_x)에 주목해보면, 응력만 작용하는 경우(Case B), 최대압축응력의 절대값은 보수용접선 길이가 긴 순(Type V 〉 Type IV 〉 Type III 〉 Type II 〉 Type I)으로 크게 발생됨을 알 수 있다. Fig 4의 그림으로는 정량적 평가가 어려우므로 Table 2에 정량적 값을 보인다. 이러한 결과를 보이는 것은 균열부가 커짐에 따라 응력집중으로 인한 인장응력이 커져서 상대적으로 구속하고자 하는 압축응력이 크게 발생했기 때문이다. 또한, 균열부에서는 응력성분이 "0"임을 알 수 있다. 그리고, 무응력 상태에서 보수용접만 한 경우(Case A) 및 응력 작용하에서 보수용접을 한 경우(Case C)는 보수용접선 길이가 짧은 순(Type I 〉 Type II 〉 Type III 〉 Type IV 〉 Type V)으로 크게 발생되었다. 이러한 순서로 압축응력이 발생된 이유는, t=4sec일 때의 용접열원은 각 Case의 균열 시작부에 위치하고 있으므로 주목하고 있는 장소(x=120, z=5mm)에서의 압축응력은 균열길이가 길수록 균열시작부와 상대적으로 거리가 멀어지기 때문에 적어지는 것이다.



(a) Case A(by Welding)



(b) Case B(under Loading(80MPa, 140MPa))



(c) Case C(by Welding under Loading(80MPa, 140MPa))

Fig 4. Stress with respect to Crack Length

Table 2. The magnitude of stress (Repair Welding transverse direction)

해석모델		최대과도응력 σ_x(*MPa*)	
		80 *MPa*	140 *MPa*
Type I	Case A	-265	-265
	Case B	-23	-40
	Case C	-292	-300
Type II	Case A	-202	-202
	Case B	-59	-99
	Case C	-244	-264
Type III	Case A	-183	-183
	Case B	-68	-114
	Case C	-212	-223
Type IV	Case A	-99	-99
	Case B	-83	-140
	Case C	-160	-193
Type V	Case A	-71	-71
	Case B	-91	-147
	Case C	-149	-176

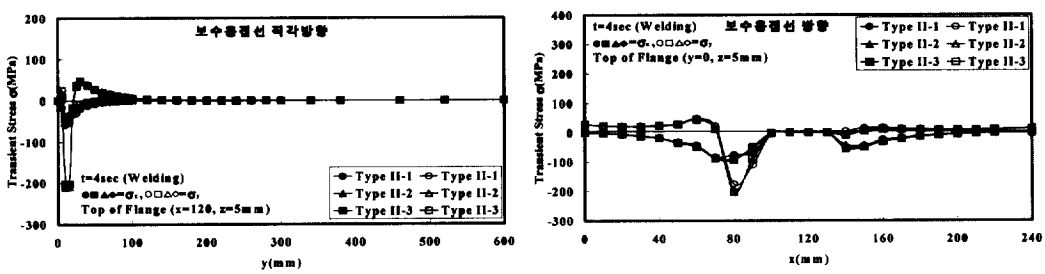
Table 3. The magnitude of stress (Repair Welding direction)

해석모델		최대과도응력(σ_y *MPa*)	
		80 *MPa*	140 *MPa*
Type I	Case A	-195	-195
	Case B	145	234
	Case C	-72	-54
Type II	Case A	-203	-203
	Case B	187	274
	Case C	-72	-50
Type III	Case A	-203	-203
	Case B	217	290
	Case C	-68	-32
Type IV	Case A	-173	-173
	Case B	273	310
	Case C	-71	166
Type V	Case A	-195	-195
	Case B	289	387
	Case C	-40	300

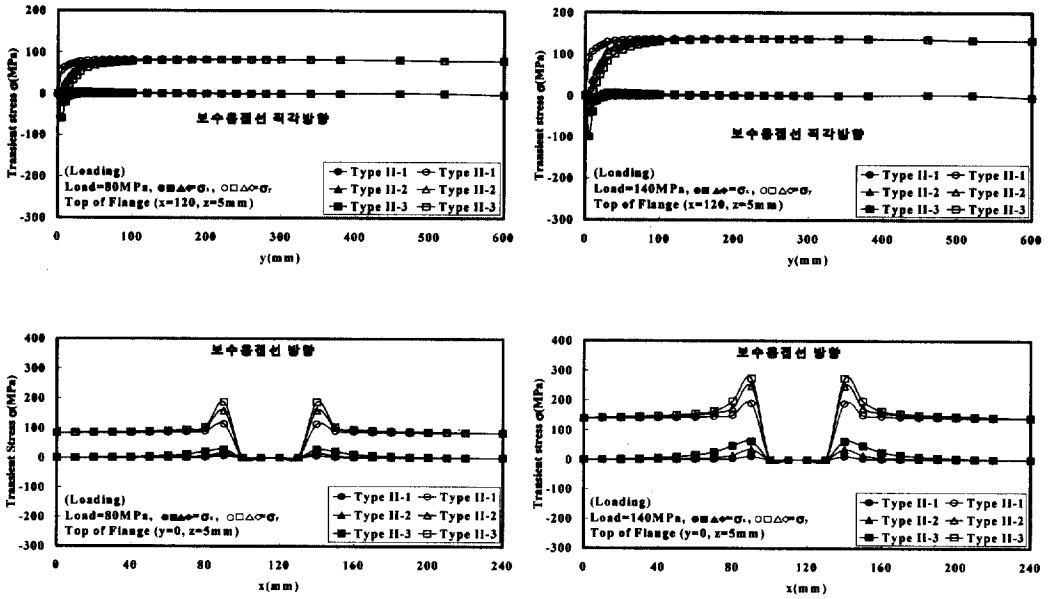
또한, 80*MPa*($\sigma_y/3$) 및 140*MPa*(σ_a)의 응력 작용하에 보수용접(Case C)시 발생한 압축과도 응력의 크기는 무응력 상태에서 보수용접(Case A)에 의해 발생한 응력에 하중만 재하한 경우(Case B)에 발생한 응력을 합한 것과 비슷한 결과가 됨을 알 수 있다. Table 2에 접합부의 정량적인 압축응력성분의 최대치를 각 Case별로 나타내었다.

다음으로 보수용접선 방향의 과도응력성분(σ_y)에 주목해보면, 응력만 작용하는 경우(Case B), 최대인장과도응력의 절대값은 보수용접선 길이가 긴 순(Type V 〉 Type IV 〉 Type III 〉 Type II 〉 Type I)으로 크게 발생되었다. 이에 대한 정량적 값을 Table 3에 나타내었다.

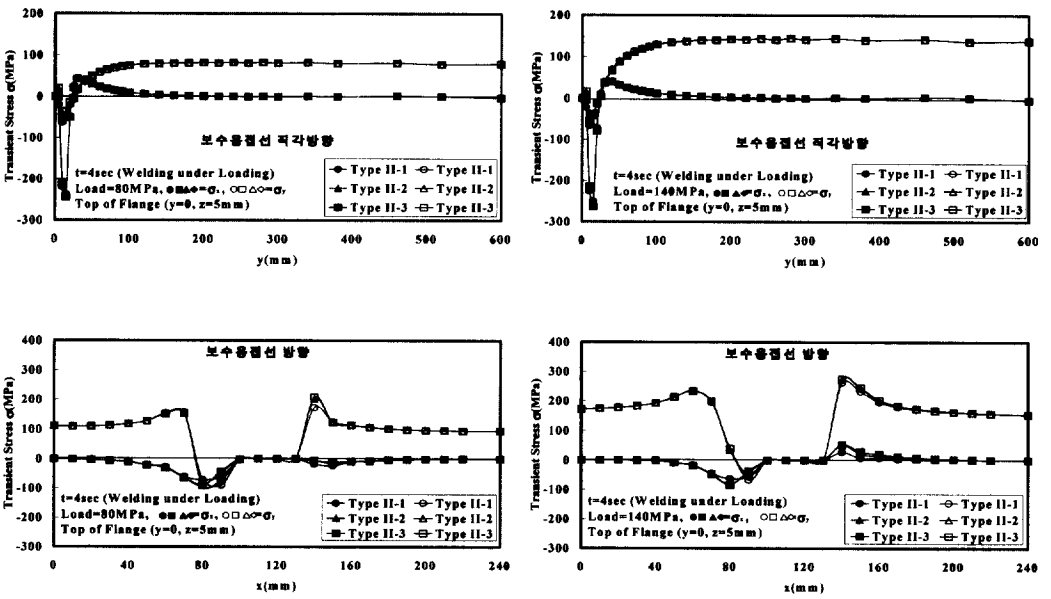
이것은 균열길이가 클수록 하중작용 방향 단면이 상대적으로 작아지기 때문에 인장응력이 커짐을 알 수 있다. 그러나, 무응력 상태에서 보수용접만 한 경우(Case A) 과도상태 응력은 압축응력이 발생함을 알 수 있다. 이것은, 과도상태에서는 용접부가 용융되어 용접부 부근에서는 열팽창을 하여 이를 구속하는 압축응력이 발생했기 때문이다.



(a) Case A(by Welding)



(b) Case B(under Loading(80MPa, 140MPa))



(c) Case C(by Welding under Loading(80MPa, 140MPa))

Fig 5. Stress with respect to Crack Depth

그리고, 일부 인장응력 성분의 크기(예를 들면, Type V의 인장응력 성분 크기가 약 430*MPa*인 경우)가 항복응력($\sigma_y = 240MPa$)을 넘고 있다. 그러나, 이것을 상당응력으로 환산하면 약 230*MPa*이 된다.

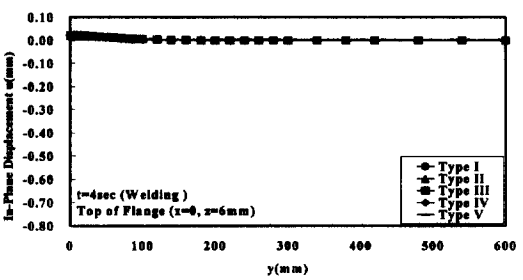
또한, 80*MPa*($\sigma_y/3$) 및 140*MPa*(σ_a)의 응력 작용하에 보수용접(Case C)시 발생한 인장과도응력의 크기는 무응력 상태에서 보수용접(Case A)에 의해 발생한 응력에 하중만 재하한 경우(Case B)에 발생한 응력을 합한 것과 비슷한 결과가 됨을 알 수 있다.

4.2 균열 깊이가 응력에 미치는 영향

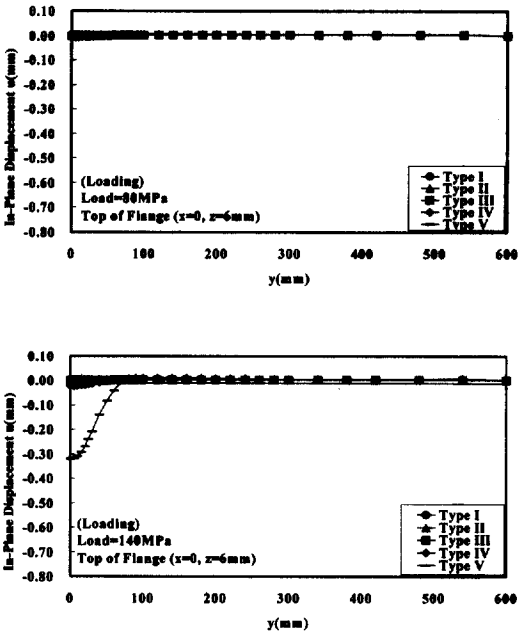
Case A, B, C에 대하여 평판 상단($x=120$, $z=5mm$)의 균열 깊이가 변할 때 발생되는 보수용접선 직각방향 및 보수용접선 방향의 과도응력 성분(σ_x, σ_y)을 Fig 5.에 나타내었다.

80*MPa*($\sigma_y/3$) 및 140*MPa*(σ_a)의 응력 작용하에 보수용접(Case C)시 접합부에 발생되는 압축과도응력의 크기는 보수용접부의 입열에 따른 열팽창으로 인해 접합부에 발생하는 압축응력(Case A)에 하중만 재하한 경우(Case B)에 발생하는 응력을 합한 것과 비슷한 결과가 됨을 알 수 있다.

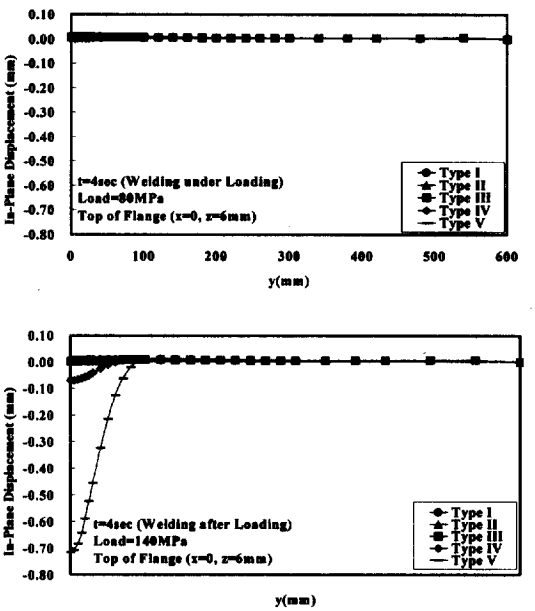
그리고, 보수용접 깊이가 깊은 순(Type II-3 〉 Type II-2 〉 Type II-1)으로 압축과도응력이 작게 나타남을 알 수 있다. 이것은 용접깊이가 깊을 수록 용접열원부의 열팽창을 구속하는 단위면



(a) Case A(by Welding)



(b) Case B(under Loading(80MPa, 140MPa))



(c) Case C(by Welding under Loading(80MPa, 140MPa))

Fig 6. In-Plane Displacement with respect to Crack Length

적이 작아지기 때문이다.

응력만 작용하는 경우(Case B)의 보수용접선 방향의 인장과도응력 성분(σ_x, σ_y)은 보수용접선 깊이가 깊은 순(Type II-3 〉 Type II-2 〉 Type II-1)으로 크게 발생되었다. 이것은 균열깊이가 클수록 하중작용 방향 단면이 상대적으로 작아지기 때문이다.

그리고, 무응력 상태에서 보수용접(Case A)만 한 경우에는 압축과도응력이 발생되었다.

또한, $80MPa$($\sigma_y/3$) 및 $140MPa$(σ_a)의 응력 작용하에 보수용접(Case C)시 발생한 응력 크기는 무응력 상태에서 보수용접(Case A)에 의해 발생한 응력에 하중만 재하(Case B)한 경우에 발생한 응력을 합한 것과 비슷한 결과가 됨을 알 수 있다.

5. 변 형

보수용접에 의해 발생되는 변형은 응력의 경우와 같이 Case A, B, C에 대해 용접선 직각방향(y방향)의 면내 변형(u)에 주목하였다.

5.1 균열 길이가 면내변형에 미치는 영향

평면 상단($x=0, z=6mm$)의 용접선 직각방향(y방향)의 보수용접 길이에 따른 용접선 방향(x방향)의 Case A, B, C에 대한 과도면내변위(u)를 Fig 6.에 나타내었다. 하중만 재하한 경우(Case B)의 면내수축변위는 보수용접선 길이가 긴 순(Type V 〉 Type IV 〉 Type III 〉 Type II 〉 Type I)으로 크게 발생되었다. 이것은, 균열길이가 클수록 하중작용 방향 단면이 상대적으로 작아져 중심부근의 강성저하에 의해 접합부에서 수축면내변위가 발생하기 때문이다. 그러나, 무응력 상태에서 보수용접만 진행된 경우(Case A)의 과도상태 면내변위는 팽창변위를 나타내었다. Table 4에 접합부의 면내변위의 최대치를 각 Case별로 나타내었다.

Table 4. The magnitude of Displacement

해석모델		접합부의 최대변위 u(mm)	
		80 MPa	140 MPa
Type I	Case A	-0.0324	-0.0164
	Case B	0.0026	0.0026
	Case C	0.0091	0.0084
Type II	Case A	-0.0527	-0.0266
	Case B	0.0014	0.0014
	Case C	0.0092	0.0074
Type III	Case A	-0.0590	-0.0306
	Case B	0.0001	0.0001
	Case C	0.0074	0.0023
Type IV	Case A	-0.0181	-0.0181
	Case B	-0.0070	-0.0216
	Case C	-0.0001	-0.0696
Type V	Case A	-0.0024	-0.0024
	Case B	-0.0126	-0.0320
	Case C	-0.0064	-0.7150

5.2 균열 깊이가 면내변형에 미치는 영향

Case A, B, C에 대하여 평판 상단($x=0$, $z=6mm$)의 용접선 직각방향(y방향)의 보수용접 깊이에 따른 용접선 방향(x방향)의 과도면내변위(u)에 대해 해석을 수행하여 결과를 검토한 결과 면내변위의 크기는 보수용접 깊이가 변해도 절대치의 차이가 아주 작아 영향이 없는 것을 알 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 공용중 보수용접시 용접부의 응력 및 변형의 거동을 3차원 유한요소해석을 수행하여 파악하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

1) 균열이 있는 부재에 무응력 상태에서 용접만 하는 경우(Case A) 접합부의 용접선 직각방향의 압축과도응력의 크기는 보수용접균열 길이가 작은 순(Type I 〉 Type II 〉 Type III 〉 Type IV 〉 Type V)으로 크다.
2) 균열이 있는 부재에 하중만 작용할 경우

(Case B) 접합부의 용접선 직각방향의 압축과도응력의 크기는 보수용접균열 길이가 큰 순(Type V 〉 Type IV 〉 Type III 〉 Type II 〉 Type I)으로 크다. 또한, 부재에 하중만 작용할 경우(Case B) 접합부의 용접선 직각방향의 압축과도응력의 크기 및 용접선 방향의 인장과도응력의 크기는 보수용접균열 깊이가 큰 순(Type II-3 〉 Type II-2 〉 Type II-1)으로 크다.

3) $80MPa(\sigma_y/3)$ 및 $140MPa(\sigma_a)$의 응력 작용시 보수용접에 의해 발생되는 응력(Case C)의 크기는 무응력 상태에서 보수용접시 발생되는 응력(Case A)의 크기와 하중만 재하한 경우에 얻어지는 응력(Case B)의 크기의 합과 비슷하다. 이것은 발생하는 응력(인장 및 압축)이 서로 상쇄되어 재분배되기 때문이다.

4) 균열이 있는 부재에 무응력 상태에서 용접만 하는 경우(Case A) 접합부의 면내수축변위는 보수용접선 길이가 긴 순(Type V 〉 Type IV 〉 Type III 〉 Type II 〉 Type I)으로 크다. 즉, 균열길이가 클수록 강성저하가 크기 때문이다.

5) 균열이 있는 부재에 하중만 작용할 경우(Case B) 접합부의 면내수축변위는 보수용접선 길이가 긴 순(Type V 〉 Type IV 〉 Type III 〉 Type II 〉 Type I)으로 크다.

6) 균열이 있는 부재에 응력 작용하에서 보수용접시(Case C) 접합부의 면내수축변위는 보수용접선 길이가 긴 순(Type V 〉 Type IV 〉 Type III 〉 Type II 〉 Type I)으로 크다.

감사의 말

본 연구는 인하공업전문대학 산업기술연구소 1999년도 교내 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

(1) 鋼橋の疲勞 : 社團法人 日本道路協會

(2) 장경호 : 필렛 용접에서 생기는 변형 및 잔류응력에 끼치는 용접 제조건의 영향, 대한토목학회 구조위원회 학술발표회 논문집, (1999), pp. 1-9

(3) 장경호 : 적층용접에서 발생하는 변형 및 잔류 응력의 특징, 한국강구조학회 학술발표회 논문집, (1999), pp. 194-198

(4) 장경호, 이상형 : 하중작용하에 용접되는 평판의 변형 및 응력의 특징, 대한토목학회 학술발 표회 논문집 (1999), pp. 167-170

(5) Y.C.Kim, K.H.Chang : Prediction of Welding Out-of-plane Deformation by 3D-FEM Analysis and Accuracy, Proceeding of the Annual Conference of Japan Society of Mechanical Engineers, No. 98-3, October 1998, pp. 295-296

(6) 張景皓 : すみ肉溶接で生じる面外變形の 一般特と防止に關する研究, 1998, 大阪大學 博士論文

(접수일자 : 1999년 11월 22일)