

일괄 풀림처리된 강판의 변형정도에 따른 소열경화 특성

허 훈, 황필상
한국과학기술대학

1. 서론

최근의 자동차 제조회사들은 경량의 자동차를 생산하기 위한 연구를 활발히 진행하고 있다. 그 이유는 우선적으로 에너지를 절약하여 주행비를 높이기 위한 것이며, 또한 절감되는 중량만큼 공해방지, 사고방지구조, 편의설비 등을 장착하기 위한 것이다. 그러나, 자동차의 중량을 줄이더라도 그 안전도는 상당할 만큼 또는 그 이상의 설계조건을 유지하여야 한다. 따라서, 자동차 중량감소를 위한 대응재료 등의 개발 연구와 새로운 방식의 자동차 구조들에 대한 연구가 필수적인 상황이다.

그중 가장 대표적인 것이 자동차 차체 구조물로서 이는 차중량의 약 30%를 차지하고 있고 중량감소 가능성이 높은 부분이다. 각국의 자동차 제조회사에서는 차체의 중량감소를 위하여 고강도 알루미늄판을 시도하기도 하였으나[2], 자동차 차체의 재료로는 중량을 줄이기 위한 방법으로 주로 여러가지의 고강도 강판을 시도하였으며[1], 가장 장래성이 있고 또한 최근 대량 생산라인에 적용되고 있는 재료는 복상강판(Dual Phase Steel Sheet), 소열경화 강판(Bake Hardening Steel Sheet) 또는 두가지의 특성을 모두 나타내는 강판 등이다.[3]-[14]

차체구조물로서 고강도 강판이 충족시켜야 할 필요조건은 성형성, 늘림저항성, 용접성, 부식성, 균일성등이다. 복상강판은 항복강도는 낮으나 최대 인장력이 높고 가공경화지수가 크기 때문에 (특히 저 변형율에서) 성형중에 강도가 높아지는 이점이 있다. 한편, 소열경화강판은 복상강판의 특성을 다소 가지고 있으며 소열후에 소열경화가 일어나므로 가공물의 강도가 증가하는 이점이 있다. 특히 소열경화는 변형정도가 작은 부분에는 높게, 변형정도가 큰 부분에는 낮게 일어나므로 최종제품의 강도가 여타 재료를 사용할때 보다 균일하게 되는 이점이 있다.

소열경화는 자동차 차체의 도장을 굽는 과정에서 자동적으로 이루어 질 수 있으며, 약 200°C 정도의 온도로 20여분간 가열하면 탄소가 입자경계에 석출되어 소성변형시 금속의 전위를 억제하므로 강도가 높아지는 일종의 인공시효현상이다. 따라서 소열경화성을 갖기 위해서는 고용질내에 적당량의 탄소가 함유되어야 하는 것이 금속학적 필요조건이나, 이 조건은 저탄소강판 정도에서도 충분하다.

소열경화강판은 권판을 일괄풀림처리하거나 연속풀림처리후 과시효처리하여 제조할 수 있다. 최근에는 구미 각지에 연속풀림강판 제조공정이 대량생산라인으로 설치되어 많은양의 소열경화 강판이 제조되고 있고[10], 그 용도도 매우 다양해지고 있으며, 특히 자동차 생산에 많이 응용되고 있다. 따라서, 연속풀림처리된 소열경화 강판의 경화특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 것은 물론이다[5][13][14].

한편 여타 철강업체에서는 새로운 생산라인이 아닌 종래의 생산라인으로 부터 소열경화강판을 얻을 수 있는 공정을 연구하고 있으며[6], 그 방법중의 하나가 일괄풀림처리 공정이다. 따라서 두 공정으로 부터 각각 생산된 제품에 대한 비교분석도 활발히 연구되고 있다[9].

본 연구에서는 입괄폴림 소열경화 강판의 경화 특성을 변형정도와 소열정도에 따라 비교분석하였으며, 그 이유는 상기 재료는 우리나라에서도 생산라인의 수정없이 재조가 가능한 제품이기 때문이다. 변형정도는 차체 성형시 변형정도가 각 부위에 따라 다르므로 가공 경화강도가 다르게 나타나며, 소열정도는 차체의 도장시의 온도와 시간에 따라 소열 경화강도가 차이가 나므로 최종 생산된 차체의 강도계산에 중요한 기본인자로 고려되어야 한다. 또한, 입괄 폴림처리 정도에 따라 소열경화 특성이 달라지므로, 입괄폴림처리 공정에 대한 기본자료로서도 활용될 수 있을것이다.

2. 강판의 경화특성과 물성

강판의 강도를 높이는 방법은 주로 간질요소(Interstitial Element)나 대체요소(Substitutional Element)를 이용한 고용체에 의한 법, 입자정련에 의한 법, 부분폴림 처리에 의한 법, 물성변환에 의한 법 등을 예로 들수 있다. 그러나, 이들중 과냉간 가공, 부분물성처리, 마르텐사이트 강화등의 방법은 강도는 높아지나 성형성이 나빠지는 경향이 있어 차체성형에는 부적합하다. 차체 성형을 위한 강판으로서는 강도가 높아짐과 동시에 성형성이 좋아야 하는 제약이 있다.

차체 성형을 위한 강판의 가장 이상적인 조건은 성형시에는 낮은 항복응력과 좋은 성형성을 갖고 성형후에는 높은 항복강도와 인장강도를 가지는 것이라 하겠다. 따라서, 침적강화에 쓰이는 콜롬비움, 티타늄, 바나듐등의 요소를 함유하는 강판은 높은 강도를 나타내나 성형성이 나빠져 박판성형에는 어려움이 있다. 반면, 간질 요소나 대체요소인 탄소, 질소, 망간, 인등은 인장강도의 증가는 작으나 좋은 성형성을 보이므로 박판성형에 적합하다 하겠다. 탄소는 0.01%의 함량증가로 4 N/mm²(MPa), 질소는 0.01%의 함량증가로 85 N/mm², 망간은 0.1%의 함량증가로 약 4 N/mm², 규소는 0.1%의 함량증가로 5-8 N/mm², 인은 0.01%의 함량증가로 4-5 N/mm² 만큼 인장강도가 증가한다 [3]. 냉간압연강판의 생산에는 약 1% 정도 까지의 망간이나 규소의 첨가로 항복강도가 약 300 N/mm² 정도가 되는 강판을 제조할 수 있다.

위의 요소들중 탄소, 질소, 인 등은 시효경화의 효과도 갖고 있어 강판제조에 중요한 인자로 생각할 수 있다. 그중 질소는 미량의 함량으로 높은 강도증가를 보이며 시효효과가 상당히 좋아서 0.015% 질소를 함유한 1010 강판은 시효후에는 항복강도가 약 85 N/mm² 정도 증가한다. 질화(0.012%) 1010 강판의 경우 7.5%의 변형과 시효후에는 항복강도가 290 N/mm² 에서 170 N/mm² 가 증가한 460 N/mm² 가 된다. 그러나 질화강판의 가장 큰 단점은 상온에서도 시효효과가 일어난다는 점이며, 항복점 연신율이 질소함유량과 시효정도에 따라 상당히 달라져 성형후에는 박판표면에 Lüders표적이 나타난다는 것이다[1]. 이것은 대량정밀생산을 요구하는 자동차 차체의 성형 재료로서는 부적합하다.

일반강판에서 상온시효효과와 주원인은 질소함유때문이나, 0.002~0.004% 정도의 질소를 함유하는 재인화 강판의 경우는 항복점 연신율의 변화가 적어 Lüders 표적의 문제가 적어 프레스성형에 별 문제가 없다. 진정재인화 강판(Killed rephosphorized steel sheet)은 320 N/mm² 정도의 항복강도를 가지며 연성도 좋아서 30~35%의 연신율을 가지며, 가공경화지수 n 도 0.2 정도로 좋고, rm 값도 1.35에서 1.65토 좋아서 차체의 성형에는 좋은 재료로 쓰이고 있다. 또한, 상기한 재인화 강판은 상온에서의 시효 효과가 없는 반면, 응력유동이 상당히 있어서 도장소열후에는 상당한 강도증가를 보인다. 예컨대, 7.5%의 변형후에는 약 110 N/mm² 정도의 가공경화를 보이며 약 180°C에서 15분간의 도장소열후에는 30 N/mm² 정도의 강도증가를 보인다.







최근에 관심을 모으고 있는 재료는 복상강판과 소열경화강판으로서 재인화강판의 특성을 검비하기 위해 인도 다량함유하고 있는 재료들이다. 복상 강판이란 페라이트-마르텐사이트의 복상조직을 가진 재료로서 보통 마르텐사이트는 10-15% 정도 함유되어있다. 복상조직은 저탄소합금강을 급속 수증담금집한후 연속풀림처리하여 얻을 수 있으며, 복상 강판의 특성은 항복비 0.6 이하, 높은 n-값, 작은 r_m값 등으로 대표될 수있다. 이 재료는 신장율이 매우 우수하여 성형성이 좋고, 가공경화지수가 높으므로 성형후의 강도가 상당히 증가하므로 강판의 초기 강화도만 보장되면 차체의 중량을 상당히 절감 할수 있다. 또한 복상강판은 연속풀림처리 과정을 거치므로 소열 경화특성을 검비할 수 있다. 소열경화강판이란 저탄소강의 일종으로 일괄 풀림 처리나 연속풀림처리를 기술적으로하여 얻을 수 있으며, 소열하면 강도가 상당히 증가하는 재료이다. 예컨대, Hoesch사에서 생산되는 연속풀림처리 소열경화강판의 경우 약 170℃로 20분간 소열하면 항복강도가 40 N/mm² 정도 증가하는 것을 보증하고 있다. 소열경화탄 일종의 인위적 시효효과라고 할 수 있으며 열처리시 탄소가 입자경계 혹은 입자내에 석출되어 소성변형시 금속의 전위를 억제함으로써 항복강도를 증가시키는 현상이다. 탄소강의 소열특성은 보고된지 오래되었지만 기술적인 열처리에 의해 소열특성이 커지는 것을 발견하여 특별히 소열경화강이라 명명되었으며, 현재 각국에서 이에대한 연구가 차체성형의 응용과 더불어 활발히 진행되고 있다. 연구보고된 바에 의하면 가까운 장래의 차체 성형재료로서 복상소열경화재료가 가장 적합하다고 추천되고 있다.[7], [10]

3 실험과정

소열경화특성을 위한 본 실험에는 Thyssen 회사에서 실험적으로 제조한 BHZ 180과 유사한 소열경화 강판을 사용하였다. 이 강판은 일괄 풀림처리하여 소열경화 특성을 부여한 재료로서 Hoesch 회사에서 연속풀림처리하여 제조한 ZStE180BH와 같은 화학성분을 갖으며, 일반 저탄소강 St14에 해당되는 재료이다. 실험에 사용한 강판의 일괄풀림은 강판을 감겨있는 상태에서 최고 690℃ 까지 가열하여 600℃ 이상에서 약 5 × 10 초 이상 유지시킨 다음 300℃ 까지 0.01℃/sec 로 서냉하여 처리하였다. 이 경우에는 연속 풀림처리와 달리 과시효처리가 필요하지 않다. 시편은 연신율 A80을 구하기 위한 표준인장 시편규격으로 두께 0.89mm의 강판으로 부터 압연방향에 대하여 0°, 45°, 90° 의 세가지 경우로 분류하여 제작하였다. 각 경우의 시편은 예비변형으로 2%, 5%, 10%의 변형율을 부과하여 예비변형이 없을 경우와 함께 네가지 종류의 예비변형시편으로 분류하였다.

상술한 12가지의 시편은 소열경화특성을 관찰하기 위하여 표 1과 같이 A, B, C, D, E, F 의 여섯가지 경우로 소열하였다. 이와같은 소열과정은 자동차 차체의 도장후 소열하는 공정을 인위적으로 부여하기 위하여 시도하였으며 도표의 종류에 따라 소열온도와 시간이 다르므로 여러가지 경우에 대하여 실험하였다. 이때에 가열속도는 840℃/hr로 소열하였으며 주어진 시간후에는 가열로 속에서 A와 B의 경우에는 약 100℃ 까지 1000℃/hr의 속도로, 다른 경우에는 약 120℃까지 1200℃/hr의 속도로 냉각시켰으며, 100℃ 이하에서는 상온에서 자연적으로 냉각시켰다. 일반적으로 이러한 종류의 강판은 100℃ 이상에서 시효현상이 일어나므로 100℃정도 까지 냉각시킨후 상온에서 냉각시키는 것은 재료특성에 영향을 주지 않는다.

표 1. 각 소열처리 경우의 소열온도와 소열시간

CASE	A	B	C	D	E	F
TEMP, C	150	150	200	200	250	250
TIME, min	14	24	14	24	15	25
FIGURE						

상기의 방법으로 소열처리한 시편은 인장시험을 하여 항복응력 $R_{p0.2}$, 최대 인장응력 R_m , 연신율 A80 등을 구하여 소열 경화강도정도를 측정하였다. 이때 가공경화지수 n , 항복비 r_m 등도 구할 수 있으나, 가공경화지수를 계상하지 않아도 각 경우에 구한 항복응력값으로부터 가공경화강도의 증가를 측정할 수 있으며, St14강판이 성형성이 충분히 좋으므로 실험에서 생략하였다.

항복강도 $R_p 0.2$ 는 변형을 0.2%에서의 탄성계수와 같은 기울기의 부사선과 응력-변형선도가 교차하는 점을 찾아서 구하였다. 한편, 자동차의 충돌파손등을 예상하기 위해 최대 인장강도와 연신률도 측정하였다. 최대인장강도 R_m 은 응력-변형율 선도의 최대점으로 부터 구하였고, 연신률 A80 은 표준시편에 80 mm의 표점을 표시하여 파단시의 인장된 길이를 측정하여 구하였다.

4. 실험결과 및 고찰

실험은 3장에서와 같이 12종류의 시편을 6가지 경우로 소열하여 행하였으며, 각각의 경우에 대하여 3개의 시편을 측정하여 항복강도, 최대인장강도, 연신율 등을 가중평균하여 산출하였다. 소열경화도는 소열처리전의 항복강도와 소열처리후의 항복강도를 측정하여 그 편차로 산정하였다. 실험으로부터 구하여진 결과는 도표로 정리하였으며, 항복강도는 예비변형에 대하여, 소열경화도는 예비변형과 각 소열처리 경우에 대하여 도시하였다.

그림 1은 항복강도를 변형정도에 따라 여섯가지 소열처리의 경우를 각각 도시한 것이다. 그림에서 항복선도는 소열처리가 일정온도와 일정시간 이상일 경우에 항복강도가 현저히 증가함을 보여준다. 온도와 시간이 일정치 이하일때에는 항복강도의 증가가 크지않고 특히 예비변형이 없을 때에는 증가정도가 매우 작아서 소열처리의 소기의 목적에 미달됨을 알 수 있다. 따라서 변형이 작을수록 소열정도가 높아지는 이점을 얻으려면 일정온도와 시간 이상이어야 함을 알 수 있다. 예컨대, 250°C의 온도로 25분간 소열한 경우에는 변형이 없는경우와 10% 변형인 경우의 항복강도 차이가 압연방향에 0°인 경우 약 75 N/mm²로서 소열하지 않았을 때의 차이 100 N/mm²에 비해 25 N/mm²정도 감소한 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 압연방향에 45°인 경우에는 더욱 현저하며, 약 32 N/mm²정도가 감소하여 항복강도는 더욱 근일해짐을 알 수 있다. 가공후의 전체적인 항복강도의 증가효과는 특기할 만하다. 예를들어 압연방향에 0°인 시편은 10%의 가공경화로 강도증가가 약 100 N/mm², 250°C로 25분간의 소열처리로 강도증가가 약 45 N/mm²로서 초기항복강도 200 N/mm²에 비하여 약 145 N/mm²가 증가한 345 N/mm²가 됨을 알 수 있다. 이 경우에는 소열온도와 시간에 따른 차이가 현격함을 알 수 있다.

소열경화도에 중점을 두어 변형정도에 따라 도시한 것이 그림 2 이다. 그림에서와 같이 소열경화도의 증가는 최대 약 80 N/mm^2 이며 이것은 초기 항복강도 200 N/mm^2 에 비하여 약 40%의 증가에 해당한다. 그림에서 보는 바와 같이 Case F의 경우에는 예비변형이 작을수록 소열경화도가 증가하여 소성가공후의 박판제품의 강도가 보다 균일해지는 것을 짐작할 수 있다. 한편 소열경화도는 압연방향에 45° 일때에 더욱 증가하며, 초기 항복강도도 압연방향에 45° 일때가 가장 높으므로, 제품 생산시 충격을 많이 받는 방향을 45° 방향이 되게 가공하면 강도면에서 보다 좋은 효과를 얻을 수 있다. 소열경화도의 증가정도를 각 소열처리 경우별로 도시한 것이 그림 3 이다. 이 경우 각각의 소열처리과정에 따른 소열경화도의 증가를 예비변형에 따라 쉽게 판독할 수 있으며, B, C, D, E의 경우에는 예비변형이 2~10% 정도일때 소열경화도의 증가정도가 비슷함을 알 수 있다. 그러나 예비변형이 없는 경우에는 각 경우에 따라 소열경화도의 증가정도가 현저히 차이가 나며 F의 경우에는 매우 커져서 소열처리 본래의 목적에 부합됨을 알 수 있다. 또한 온도와 시간의 변화에 따른 각 경우에 경화도 증가의 차이가 남을 알 수 있으며, 예컨대 B의 경우와 C의 경우가 비슷한 정도이며 D의 경우와 E의 경우가 비슷한 정도 등이다.

이것은 그림 4의 조직사진으로 부터도 경화도의 증가경향을 쉽게 설명할 수 있다. A의 경우에는 초기상태의 조직과 큰 차이를 찾을 수 없으나, B의 경우부터는 입자경계에 탄소가 석출되는 현상을 관찰할 수 있으며 C, D의 경우에는 탄소가 입자경계에 석출되어 입자경계면이 두꺼워지는 것이 현저하게 나타난다. E, F의 경우에는 입자경계 뿐만 아니라 입자내에도 탄소가 석출되고 있음을 알 수 있으며 특히 F의 경우에는 탄소가 입자내에도 매우 고르게 석출되어 강도가 증가할 것을 쉽게 짐작할 수 있다. 또한 이의 영향으로 시편의 색깔도 현저히 변하여 F의 경우는 누런빛깔을 띄게된다. 이의 영향으로 부식정도도 차이가 나며 A, B의 경우에는 상온부식정도가 원래 시편과 별차이가 없으나 F의 경우에는 부식이 매우 빨리 진행됨을 알 수 있어 문제점으로 지적된다.

한편, 연신율과 최대인장강도의 각 경우에 대한 비교는 표 2를 통하여 알 수 있다. 대개의 경우에는 각 시편의 연신율과 최대인장강도는 큰 편차가 없으나, 예비변형이 커지고 소열정도가 높아질수록 최대인장강도는 증가하고 연신율은 감소함을 알 수 있다. 특히 F의 경우에는 연신율은 15% 정도 감소하나 최대인장강도는 10% 정도로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 높은 항복강도와 최대인장강도가 보장되므로 차탕충돌 파손시에 요구되는 고변형에너지 면에서는 유리한 특성이라 할 수 있으며, F의 경우에 해당되는 최종제품이 타 경우에 비하여 차탕충돌시의 파손강도가 약간 더 좋을 수 있음을 예측할 수 있다.

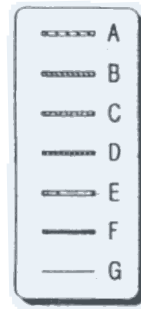
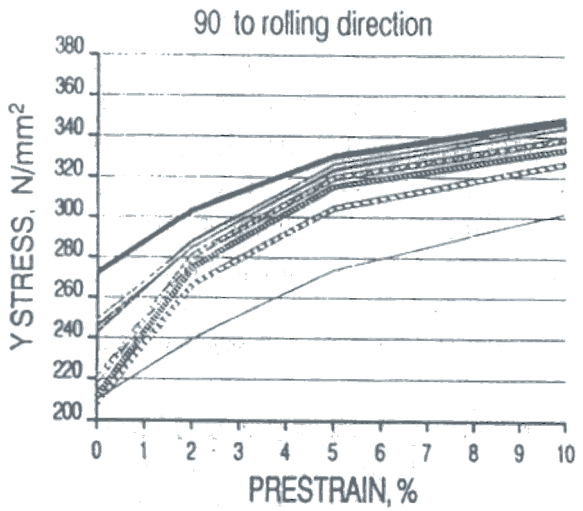
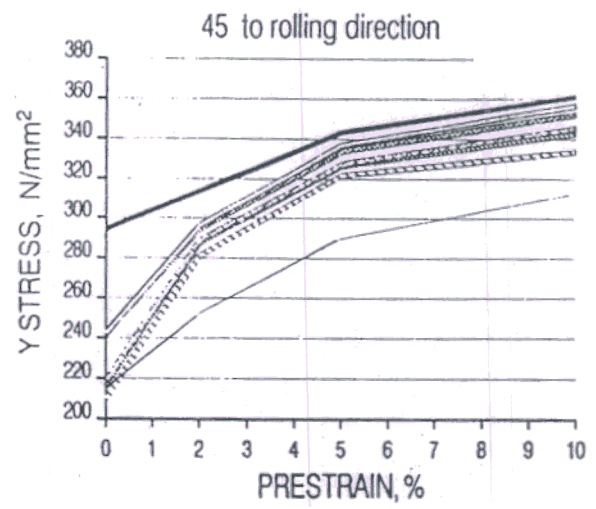
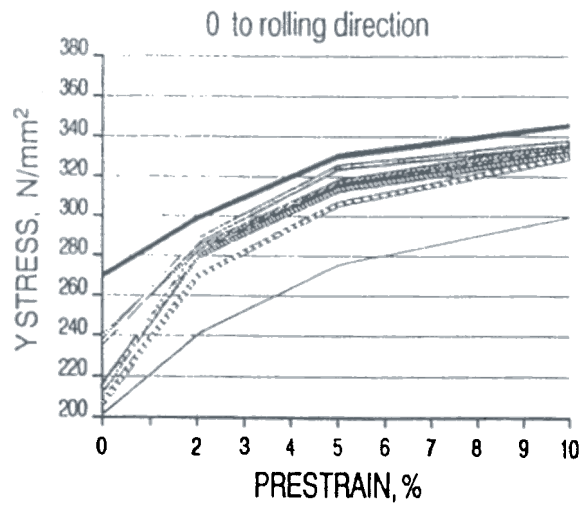


그림 1. 각 소열처리 경우의 예비변형에 대한 최종 항복강도

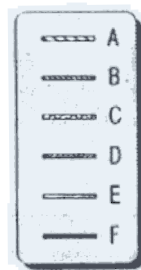
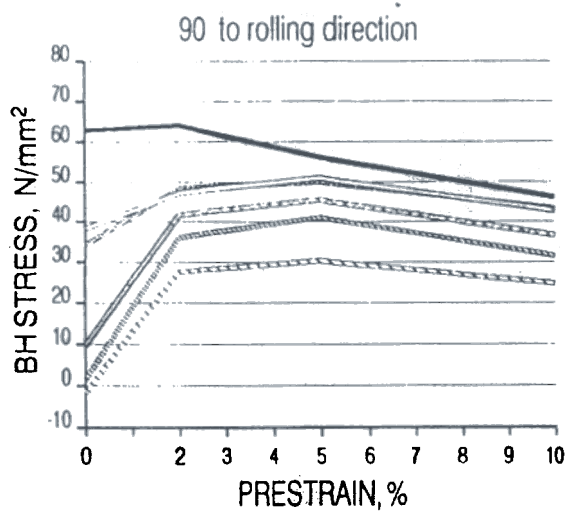
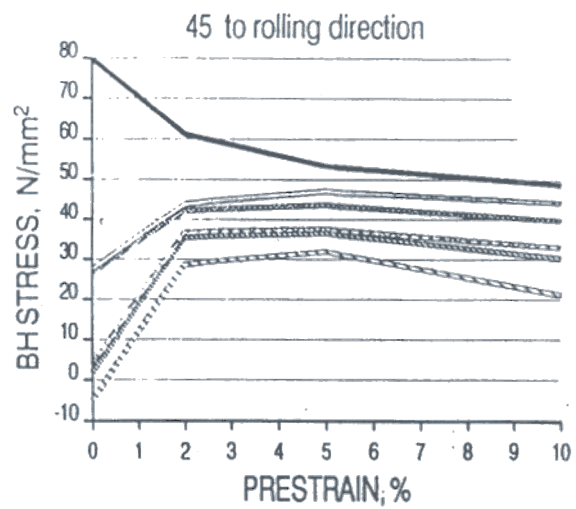
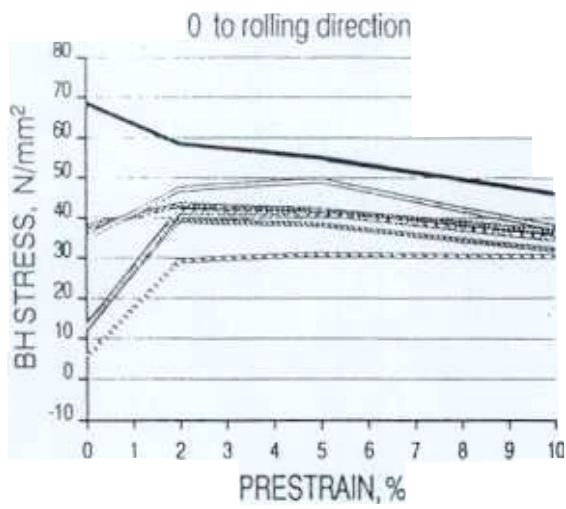


그림 2. 각 소열처리 경우의 예비변형에 대한 소열경화도

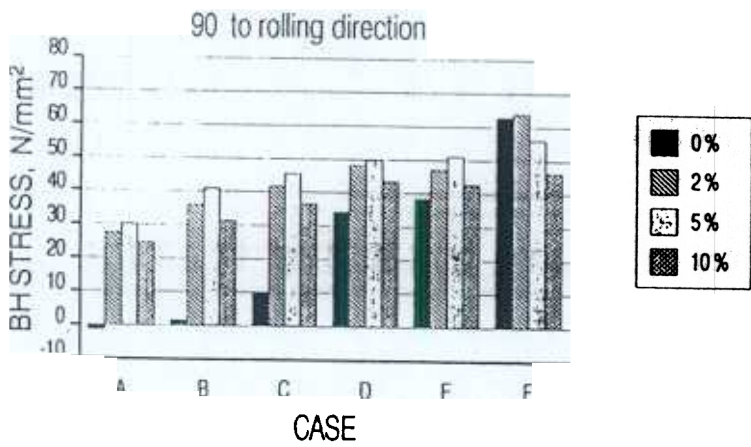
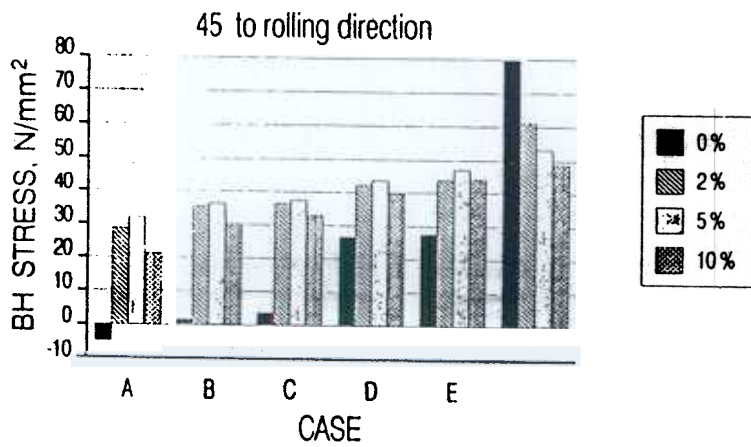
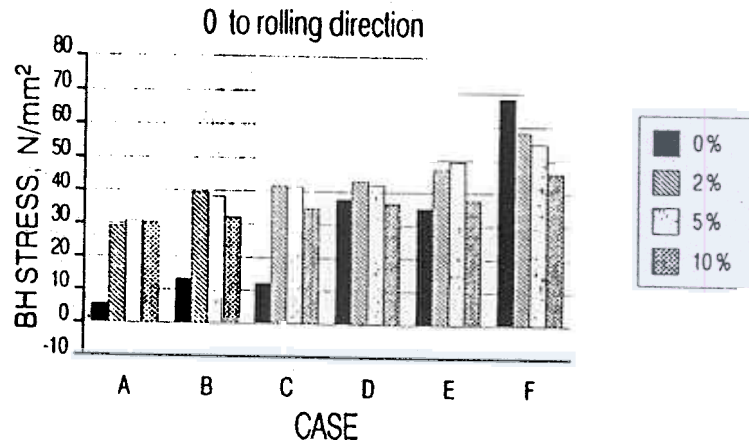
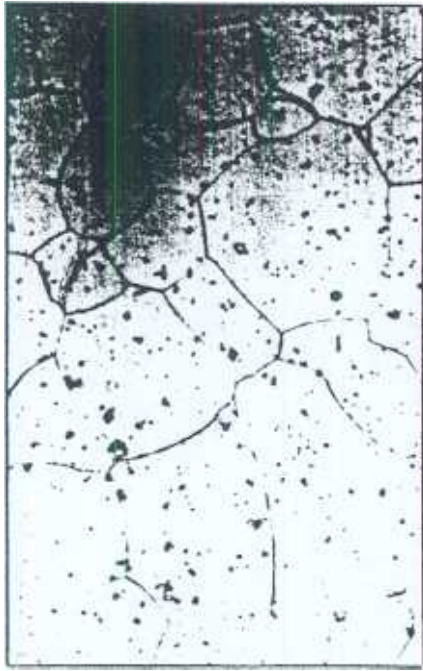


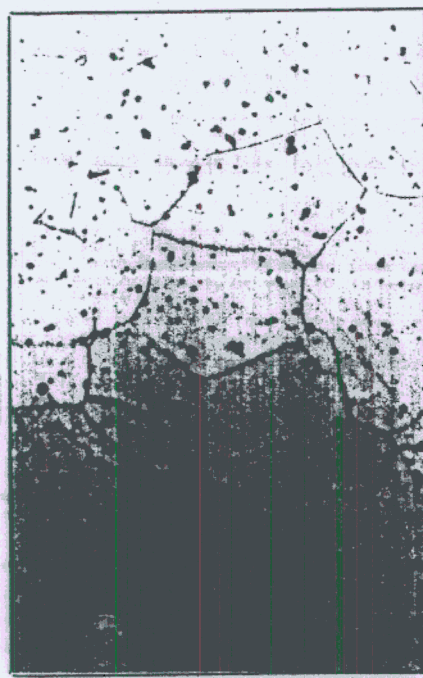
그림 3 각 소열처리 경우의 예비변형에 따른 소열경화도 비교



CASE B



CASE



CASE A

10 μ



CASE D

그림 4. 각 식염처위의 식조직의 화

표 2. 소열경화 강판의 연신율(%)과 최대인장강도 (N/mm²)

구 분		예 비 변 형			
		0%	2%	5%	10%
소 열 처 리	A	38.8 (326)	38.8 (327)	38.8 (329)	38.8 (334)
	B	38.1 (329)	36.3 (329)	36.3 (331)	35.0 (341)
	C	38.8 (329)	36.3 (333)	36.3 (335)	31.3 (346)
	D	38.8 (330)	35.6 (337)	33.8 (341)	25.0 (351)
	E	38.6 (329)	35.6 (336)	34.4 (344)	23.8 (351)
	F	35.0 (329)	35.0 (341)	30.0 (349)	23.8 (357)

결론

최근 구미 각국에서는 연속롤틸처리 소열경화 강판의 생산량이 급격히 늘고 있고, 그 응용도 다양해 지고 있다. 그중 대표적인 것이 자동차 차체성형이며, 이는 자동차 생산설계의 중요한 목표중의 하나인 차량중량절감에 결정적 역할을 할 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 우리나라에서도 생산라인의 수정없이 재조가능한 일괄 롤틸처리 소열경화 강판의 소열경화 특성에 대하여 실험 연구하였다.

실험결과에 의하면 소열경화에 의한 강도증가는 250℃로 25분간 소열하였을때 최대 80 N/mm² 가 되어 초기 항복강도 200 N/mm² 에 비하여 약 40% 까지 항복강도를 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 차체성형시의 평균 변형율을 5%로 가정하고 도장소열처리를 하면 초기 항복강도 200 N/mm² 로 부터 가공경화에 의해 약 75 N/mm², 소열경화에 의해 약 55 N/mm² 가 증가하여 최종항복강도 330 N/mm² 의 높은 강도증가 효과를 얻을 수 있다.

소열경화강판의 장점으로는 낮은 항복강도와 좋은 연신율로 성형성이 매우 좋고, 상온에서 시효효과가 없으므로 차체성형의 대량생산에 적합할 뿐 아니라, 가공경화지수가 적당히 높고 소열경화가 도장소열중에 저질로 이루어지므로 차체성형시에 최종 항복강도와 최대인장강도가 매우 높아져 차량중량을 절감할 수 있다는 것이다. 더우기, 소열경화강판을 사용하면 성형부품의 기계적 특성이 여타 강판보다 월등히 균일해 지므로 최질설계에 의한 추가 중량감소를 기대할 수 있다.

소열경화강판의 특성은 일괄 롤틸처리나 연속물틸처리에 의하여 다양하게 변할 수 있으며, 금속학적으로는 고용체내의 탄소의 함유량과 입자크기를 적절히 조절하여 적합한 특성의 소열경화강판을 제조할 수 있다. 최근의 연구보고를 종합하면 복상소열경화강판이 차체성형에 가장 적합하다고 추천되고 있으며, 그 이유는 낮은 항복비, 높은 가공경화지수값, 작은 r_m값, 성형후의 높은 항복강도 등으로 성형성이 매우 좋고 최종항복강도가 높아지기 때문이다.

6. 참고 문헌

- [1] Krupitzer, R.P. et al, Progress in HSLA Steels in Automotive Applications, SAE Paper 770162 (1977)
- [2] Evancho, J.W. and Kaufman, J.G., New GXXX-Series Alloys for Auto Body Sheet, SAE Paper 770307 (1977)
- [3] Goodman, S.R. and Mould, P.R., High-Strength Steel Sheets for Automobile Body Panels, SAE Paper 790168 (1979)
- [4] Mantey, H.H.L. and Burton, F.T., Dual Phase Steel Production Bumpers, SAE Paper 790281 (1979)
- [5] Meers, U., Van De Walle, A., and Verhoeven, G., Bake Hardenability of Continuousloy Annealed Steel Sheet, Auseinandersetzung in Leuven (KUL) (1985)
- [6] Litzke, H. and Müller, R., Das Bake-Hardening-Potential von in Hauben Geglühtem, Kaltgewalztem Feinblech, IDDRG 14th Biennial Congress (1986).
- [7] Bleck, W. et.al, Höherfestes Kaltgewalztes Feinblech aus Phosphorlegierten Stählen und aus Stählen mit Dualphasengefüge, Stahl u. Eisen 106 Nr. 25-26 pp 1381-1398 (1986)
- [8] Renard, L. and Beco, F., Bake Hardening Measurement, IDDRG (1987)
- [9] Bleck, W. et.al, Comparison of Batch and Continuously Annealed Bake-hardening Steels, IDDRG (1987)
- [10] Drewes, E.J., New Steels for Body Sheet Application, IDDRG (1987)
- [11] Wollrab, P.M. and Streidl, M., Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes Höherfester Stahlbleche im Automobilbau, Stahl u. Eisen 107 Nr. 4 pp. 165-168 (1987)
- [12] Drewes, E.J., Bersch, B., and Meuthen, B., Anwendungstechnische Entwicklungen für Kaltgewalzte und Oberflächenveredelte Flacherzeugnisse bei der Hoesch Stahl AG, Stahl u. Eisen 108 Nr. 4 pp 153-159 (1988)
- [13] Drewes, E. J. and Engl, B., Contigeglühte Höherfeste Stahlsorten für Feinbleche, Stahl u. Eisen 108 Nr. 21, pp 987-994 (1988)
- [14] Drewes, E. J. and Engl, B., Metallurgy of Thin Sheets, ATA Events technical paper, Turin, Italy (1988)
- [15] Hoesch Stahl AG Lieferprogramm.