

# 일괄 풀림처리된 강판의 예비 변형정도에 따른 소열경화 특성

## Bake Hardenability of Batch Annealed Steel Sheets with Prestrain

허                    훈\*    황    필    상\*  
Hoon                Huh, P. S. Whang

### ABSTRACT

Bake hardenability of batch annealed steel sheets is investigated in connection with the amount of tensile deformation and the bake hardening condition. This study associates with the method for producing bake hardening materials by means of batch annealing process and for measuring bake hardenability which is not yet fully established. The experimental result demonstrates the relationship between strain distribution and bake hardening behavior in various bake hardening conditions, which provides an essential information for automobile design and related sheet metal forming in a press shop. The result also shows the bake hardenability of the tested material increases as the baking temperature is increased from 150°C. The result assures the bake hardening materials can guarantee reasonably high strength as well as good uniformity in yield strength for the automobile body by sheet metal forming process.

### 1. 서    론

최근 자동차 제조회사들은 자동차의 경량화를 위한 연구를 활발히 진행하고 있다. 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 자체성형에 시도하기도 하였으나<sup>1)</sup>, 자동차 차체의 재료로는 중량을 줄이기 위한 방법으로 주로 여러가지의 고강도 강판을 자체성형에 시도하였으며<sup>2)</sup>, 가장 장래성이 있고 또한 최근 대량 생산라인에 적용되고 있는 재료는 복상강판(Dual Phase Steel Sheet), 소열강화 강판(Bake Hardening Steel Sheet) 또는 두 가지의 특성을 모두 나타내는 강판 등이다.<sup>3~14)</sup>

차체구조물로서 고강도 강판이 충족시켜야 할 필요조건은 성형성, 내덴트성, 용접성, 부

\* 정회원, 한국과학기술원 생산공학과

식성, 균일성 등이다. 복상강판은 항복강도는 낮으나 최대 인장력이 높고 가공경화지수가크기 때문에(특히 저변형율에서) 성형이 용이하며, 또한 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 사용할 때 보다 균일하게 되는 이점이 있다.

소열경화는 자동차 차체의 도장을 굽는 과정에서 자동적으로 이루어질 수 있으며, 약 200℃ 정도의 온도로 20여분간 가열하면 탄소가 결정립계에 석출되어 소성변형시 전위이동을 억제하므로 강도가 높아지는 일종의 인공시효현상이다. 따라서 소열경화성을 갖기 위해서는 고용체내에 적당량의 탄소가 함유되어야 하는 것이 금속학적 필요조건이나, 이 조건은 저탄소강판 정도에서도 충분하다.

소열경화강판은 권판을 일괄풀림처리하거나 연속풀림처리한 후 과시효처리하여 제조할 수 있다. 그러나, 소열경화 강판의 제조방법이나 소열경화도의 측정방법은 아직 완전히 확립되지 않은 상태이다. 최근에는 구미 각지에 연속풀림강판 제조공정이 대량 생산라인으로 설치되어 많은 량의 소열강화 강판이 제조되고 있고<sup>10)</sup>, 그 용도도 매우 다양해지고 있으며, 특히 자동차 생산에 많이 응용되고 있다. 따라서, 연속풀림처리된 소열경화 강판의 경화 특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는 것은 물론이다.<sup>5), 13), 14)</sup> 한편 여타 철강업체에서는 새로운 생산라인이 아닌 종래의 생산라인으로부터 소열경화강판을 얻을 수 있는 공정을 연구하고 있으며,<sup>5), 15)</sup> 그 방법중의 하나가 일괄풀림처리 공정이다. 따라서 두 공정으로부터 각각 생산된 제품에 대한 비교분석도 활발히 연구되고 있다.<sup>9)</sup>

본 연구에서는 일괄풀림 소열경화강판의 경화 특성을 예비 변형정도와 소열정도에 따라 비교분석하였다. 상기 재료는 우리나라에서도 생산라인의 수정없이 제조가 가능한 제품이기

때문이다. 변형정도는 차체 성형시 변형정도가 각 부위에 따라 다르므로 가공 경화강도가 다르게 나타나며, 소열정도는 차체의 도장시의 온도와 시간에 따라 소열경화 강도가 차이가 나므로 최종 생산된 차체의 강도계산에 중요한 기본인자로 고려되어야 한다. 또한, 일괄풀림처리 정도에 따라 소열경화 특성이 달라지므로, 일괄풀림처리 공정에 대한 기본자료로서도 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 강판의 경화특성과 물성

강판의 강도를 높이는 방법은 주로 침입형 원소(Interstitial Element)나 치환형원소(Substitutional Element)를 이용한 고용체에 의한 법, 결정립미세화에 의한 법, 부분풀림처리에 의한 법, 물성변환에 의한 법 등을 예로 들 수 있다. 그러나, 이들 중 과냉간가공, 부분풀림처리, 마르텐사이트 강화 등의 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, 석출강화(Precipitation hardening)에 쓰이는 콜롬비움, 티타늄, 마나뎀 등의 요소를 함유하는 강판은 높은 강도를 나타내나 성형성이 나빠져 박판성형에는 어려움이 있다. 반면, 침입형원소나 치환형원소인 탄소, 질소, 망간, 인 등은 인장강도의 증가는 작으나 좋은 성형성을 보이므로 박판성형에 적합하다 하겠다. 탄소는 0.01%의 함량증가로 4N/mm<sup>2</sup>(MPa), 질소는 0.01%의 함량증가로 85N/mm<sup>2</sup>, 망간은 0.1%의 함량증가로 약 4N/mm<sup>2</sup>, 규소는 0.1%의 함량증가로 5~8N/mm<sup>2</sup>, 인은 0.01%의 함량증가로 4~5N/mm<sup>2</sup> 만큼 인장강도가 증가한다.<sup>2)</sup> 냉간압연강판의 생산에는 약 1% 정도까지의 망간이나 규소의 첨가로 항복강도가 약 300 N/mm<sup>2</sup> 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/mm<sup>2</sup> 정도 증가한다. 질화(0.012%) 1.010 강판의 경우 7.5%의 변형과 시효후에는 항복강도가 290 N/mm<sup>2</sup>에서 170 N/mm<sup>2</sup>가 증가한 460 N/mm<sup>2</sup>가 된다.<sup>1,3)</sup> 그러나 질화강판의 가장 큰 단점은 상온에서도 시효효과가 일어난다는 점이며, 항복점 연신율이 질소함유량과 시효정도에 따라 상당히 달라져 성형후에는 박판표면에 Lüders mark가 나타난다는 것이다.<sup>1)</sup> 이것은 대량정밀생산을 요구하는 자동차 차체의 성형 재료로서는 부적합하다.

일반강판에서 상온시효효과와 주원인은 질소함유 때문이나, 0.002~0.004% 정도의 질소를 함유하는 재침린 강판의 경우는 항복점 연신율의 변화가 적어 Lüders mark의 문제가 적어 프레스성형에 별 문제가 없다. 진정 재침린 강판(Killed rephosphorized steel sheet)은 320 N/mm<sup>2</sup> 정도의 항복강도를 가지며 연성도 좋아서 30~35%의 연신율을 가지며, 가공경화지수 n도 0.2 정도로 좋고, 소성 변형율비  $r_m$  값도 1.35에서 1.65로 좋아서 차체의 성형에는 좋은 재료로 쓰이고 있다. 또한, 상기한 재침린 강판은 상온에서의 시효효과가 없는 반면, 응력유동(stress flow)이 상당히 있어서 도장소열후에는 상당한 강도증가를 보인다. 예컨대, 7.5%의 변형후에는 약 110 N/mm<sup>2</sup> 정도의 가공경화를 보이며 약 180 °C에서 15분간의 도장소열후에는 30 N/mm<sup>2</sup> 정도의 강도증가를 보인다.

최근에 관심을 모으고 있는 재료는 복상강판과 소열경화강판으로서 재인화강판의 특성을 겸비하기 위해 인도 다량함유하고 있는 재료들이다. 복상 강판이란 페라이트-마르텐사이트의 복상조직을 가진 재료로서 보통 마르텐사이트는 10~15% 정도 함유되어 있다. 복상조직은 저탄소합금강을 급속 수증담금질한 후 연속풀림처리하여 얻을 수 있으며, 복

상 강판의 특성은 항복비 0.6 이하, 높은 n 값, 작은  $r_m$  값 등으로 대표될 수 있다. 이 재료는 연신성(stretchability)이 매우 우수하여 성형성이 좋고, 가공경화지수가 높아 성형후의 강도가 상당히 증가하므로 강판의 초기 가공경화도만 보장되면 차체의 중량을 상당히 절감할 수 있다. 또한 복상강판은 연속풀림처리 과정을 거치므로 소열경화 특성을 겸비할 수 있다. 소열경화강판이란 저탄소강의 일종으로 일괄 풀림처리나 연속풀림처리를 기술적으로 하여 얻을 수 있으며, 소열하면 강도가 상당히 증가하는 재료이다. 예컨대, Hoesch사에서 생산되는 연속풀림처리 소열강화강판의 경우 약 170 °C로 20분간 소열하면 항복강도가 40 N/mm<sup>2</sup> 정도 증가하는 것을 보증하고 있다.<sup>16)</sup> 탄소강의 소열특성은 보고된 지 오래되었지만 기술적인 열처리에 의해 소열특성이 커지는 것을 발견하여 특별히 소열강화강이라 명명되었으며, 현재 각국에서 이에 대한 연구가 차체성형의 응용과 더불어 활발히 진행되고 있다. 연구보고된 바에 의하면 가까운 장래의 차체 성형재료로서 복상소열경화재료가 가장 적합하다고 추천되고 있다.<sup>7,10)</sup>

### 3. 소열경화 특성 및 실험과정

소열경화란 일종의 인위적 시효효과라고 할 수 있으며, 열처리에 의해 과포화되어 있던 탄소가 결정립계 혹은 결정립 내에 석출되어 소성변형시 금속의 전위 이동을 억제하여 항복강도를 증가시키는 현상이다. 소열경화는 가공경화와 유기적인 관계가 있어, 가공경화가 작을수록 소열경화는 크게 일어나고, 가공경화가 커질수록 소열경화의 효과는 작게 일어난다. 이러한 현상을 도식화하여 설명한 것이 Fig.1이다.

소열경화강판의 특성은 일괄풀림처리나 연속풀림처리 공정에 따라 다양하게 변할 수 있으며 금속학적으로는 고용체내의 탄소의 함유량과 결정립의 크기를 적절히 조절하여 각 용도에 적합한 특성을 갖는 소열경화강판을 제조할 수 있다. 본 실험은 차체 성형에 적합한

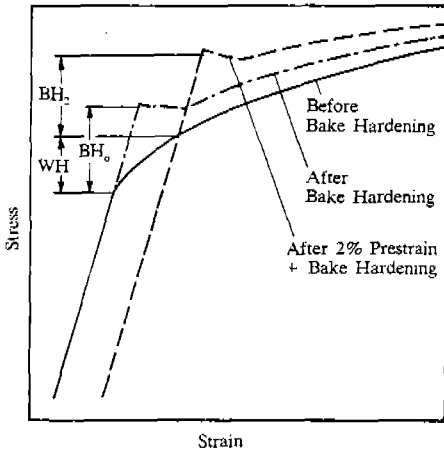


Fig.1 Schematic stress-strain diagrams demonstrating the bake hardening effect

소열강판을 제조하기 위한 것으로서, 항복강도가 낮고, 가공경화지수가 크며, 차체 조립 후의 도장을 굽는 과정과 유사한 조건인 약 200℃에서 약 20분간의 소열처리로서 소열경화 특성이 최대화될 수 있는 소열강판을 제조하는 것과 제조된 소열경화 강판의 예비변형 정도와 소열처리 정도에 따른 물성의 변화를 측정, 해석하는 것을 목적으로 하였다.

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 가지며, 일반 저탄소강 St 14에 해당되는 재료이다. 이 강판의 화학조성비는 Table 1과 같다. 탄소의 함유량은 0.02% 이하로 적을 때에 소열강화 효과가 좋게 나타나며, 0.015% 일때에 소열경화 효과가 극대화되는 것으로 보고되어 있다.<sup>9,14)</sup> 그 밖의 망간이나 인은 Table 1의 함유량 정도에서는 함유량 변화에 따라 소열경

Table 1 Chemical Composition of the Tested Bake Hardening Steel Sheet

Element	C	Si	P	Mn	S	Al	N
Composition (WT%)	0.015	0.035	0.025	0.374	0.007	0.083	0.005

화 효과에 영향이 없는 것으로 보고되어 있다.<sup>9)</sup> 실험에 사용한 강판의 일괄풀림은 강판이 감겨 있는 상태에서 최고 690℃까지 가열하여 600℃ 이상에서 약 14시간 이상 유지시킨 다음 300℃까지 36℃/hr로 서냉하여 처리하였다. 상기 일괄풀림처리 과정을 연속 풀림처리 과정과 비교하여 도식화한 것이 Fig. 2이다. Fig.2에서와 같이 일괄풀림처리의 경우에는 연속 풀림처리와 달리 과시효처리가 필요하지 않다. 시편은 연신율 A<sub>80</sub>을 구하기 위한 표준인장 시편규격으로 두께 0.89mm의 강판으로부터 압연영향에 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.

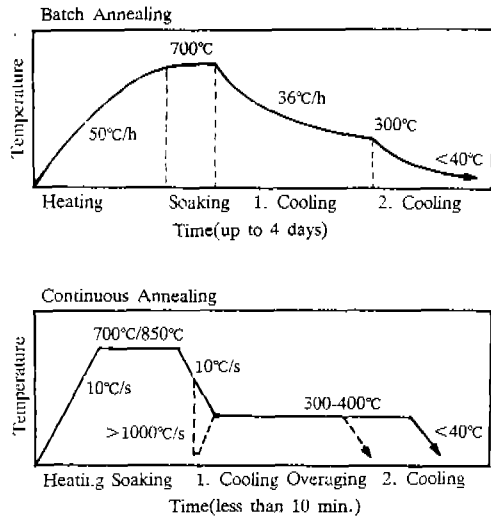


Fig.2 Schematic annealing cycles for batch and continuous annealing process

상술한 12가지의 시편은 소열경화특성을 관찰하기 위하여 Table 2와 같이 A, B, C, D, E, F의 여러가지 경우로 소열하였다. 소열온도를 150℃ 이하로 하였을 때에는 소열경화 현상이 미미하였으며 소열시간에도 영향이 거의 없었다. 한편, 소열온도를 250℃ 이상으로 하였을 때에는 소열경화의 증가가 250℃ 일때와 대동소이하었다. 차체의 도장을 굽는

Table 2 Temperature and Duration in each Bake Hardening Case

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

온도는 약 200°C이므로 소열온도는 150°C, 200°C, 250°C의 세가지 경우로 하였다. 소열시간은 차체의 도장을 굽는 시간이 약 20분인 점을 감안하여 14분과 24분 두 가지 경우로 하였다. 이와 같은 소열과정은 자동차 차체의 도장후 소열하는 공정을 인위적으로 부여하기 위하여 시도하였으며 도료의 종류에 따라 소열온도와 시간이 다르므로 여러가지 경우에 대하여 실험하였다. 이때에 가열은 가열로의 온도가 840°C/hr로 증가하게 소열하였으며 주어진 시간후에는 가열로 속에서 A와 B의 경우에는 약 100°C까지 1,000°C/hr의 속도로, 다른 경우에는 약 120°C까지 1,200°C/hr의 속도로 냉각시켰으며, 100°C 이하에서는 상온에서 자연적으로 냉각시켰다. 일반적으로 이러한 종류의 강판은 100°C 이상에서 시효현상이 일어나므로 100°C 정도까지 냉각시킨 후 상온에서 냉각시키는 것은 재료특성에 영향을 주지 않는다.

상기의 방법으로 소열처리한 시편은 인장시험을 하여 항복응력  $\sigma_Y$ , 최대 인장응력  $\sigma_U$ , 연신율  $A_{80}$  등을 구하여 소열 경화강도 정도를 측정하였다. 이때 가공경화지수  $n$ , 소성변형율비  $r_m$  등도 구할 수 있으나, 가공경화지수를 계산하지 않아도 각 경우에 구한 항복응력값으로부터 가공경화강도의 증가를 측정할 수 있으며, 성형성이 충분히 좋으므로 실험에서 생략하였다.

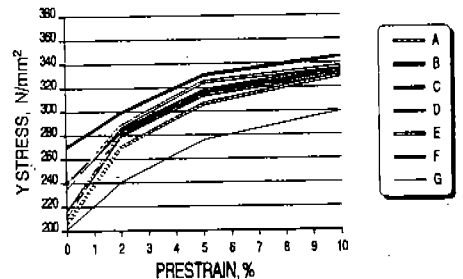
항복응력  $\sigma_Y$ 는 변형을 0.2%에서의 탄성계수와 같은 기울기의 투사선과 응력-변형율선도가 교차하는 점을 찾아서 구하였다. 한편, 자동차의 충돌파손 등을 예상하기 위해 최대 인장강도와 연신율도 측정하였다. 최대인장강도  $\sigma_U$ 는 응력-변형을 선도의 최대점으로부

터 구하였고, 연신율  $A_{80}$ 은 표준시편에 80mm의 표점을 표시하여 과단시의 인장된 길이를 측정하여 구하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

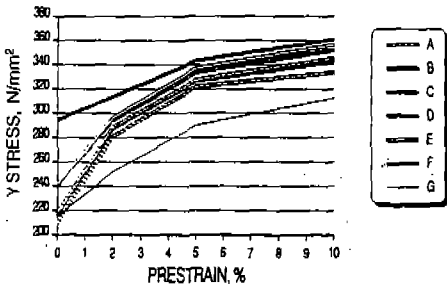
실험은 3장에서와 같이 12종류의 시편을 6가지 경우로 소열하여 행하였으며, 각각의 경우에 대하여 3개의 시편을 측정하여 항복강도, 최대인장강도, 연신율 등을 가중평균하여 산출하였다. 소열경화도는 소열처리전의 항복강도와 소열처리후의 항복강도를 측정하여 그 편차로 산정하였다. 실험으로부터 구하여진 결과는 도표로 정리하였으며, 항복강도는 예비변형에 대하여, 소열경화도는 예비변형과 각 소열처리 경우에 대하여 도시하였다.

Fig. 3은 항복강도를 변형정도에 따라 여섯가지 소열처리의 경우를 각각 도시한 것이며, 실선은 소열처리를 하지 않았을 때의 항복강도를 도시한 것이다. Fig. 3으로부터 소열처리가 일정온도와 일정시간 이상일 경우에 항복강도가 현저히 증가함을 알 수 있다. 온도와 시간이 일정치 이하일 때에는 항복강도의 증가 정도가 매우 작아서 소열처리의 소기의 목적에 미달됨을 알 수 있다. 따라서 변형이 작을수록 소열정도가 높아지는 이점을 얻으려면 일정온도와 시간 이상이어야 함을 알 수 있다. 예컨대, 압연방향에 0°인 시편을 250°C의 온도로 25분간 소열한 경우에는 변형이 없는 경우와 10% 변형인 경우의 항복강도 차

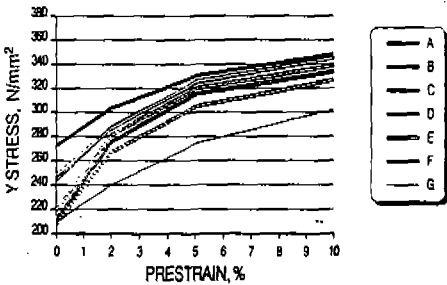


a) 0° to rolling direction

Fig. 3 Yield Strength vs. Prestrain in each Bake Hardening Case



b) 45° to rolling direction

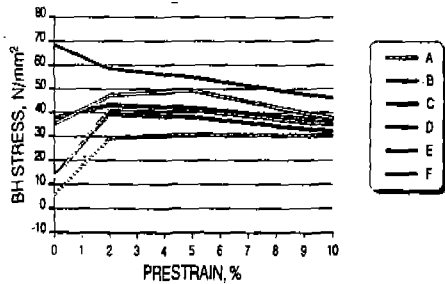


c) 90° to rolling direction

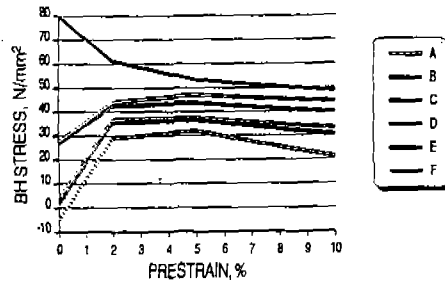
이가 약 75 N/mm<sup>2</sup>로서 소열하지 않았을 때의 항복강도차이 100 N/mm<sup>2</sup>에 비해 25 N/mm<sup>2</sup> 정도 감소한 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 압연방향에 45°인 경우에는 더욱 현저하며, 약 32 N/mm<sup>2</sup> 정도가 감소하여 항복강도는 더욱 균일해짐을 알 수 있다. 가공후의 전체적인 항복강도의 증가효과는 특기할 만하다. 예를 들어 압연방향에 0°인 시편은 10%의 가공정화로 강도 증가가 약 100 N/mm<sup>2</sup>, 250°C로 25분간의 소열처리로 강도 증가가 약 45 N/mm<sup>2</sup>로서 초기항복강도 200 N/mm<sup>2</sup>에 비하여 약 145 N/mm<sup>2</sup>가 증가한 345 N/mm<sup>2</sup>가 됨을 알 수 있다. 이 경우에는 소열온도와 시간에 따른 차이가 현격함을 알 수 있다.

소열정확도에 중점을 두어 변형정도에 따라 도시한 것이 Fig.4이다. 그림에서와 같이 소열정확도의 증가는 최대 약 80 N/mm<sup>2</sup>이며 이것은 초기 항복강도 200 N/mm<sup>2</sup>에 비하여 약 40%의 증가에 해당한다. 소열정확도는 강판의 종류에 따라 다르나 40 N/mm<sup>2</sup>에서 60 N/mm<sup>2</sup> 정도로 연구 보고되고 있고<sup>5, 9, 13)</sup>, 상업용 강판의 경우 40 N/mm<sup>2</sup>를 보증하고 있는

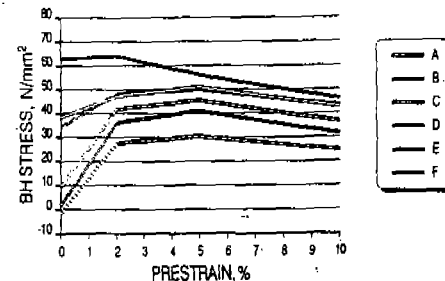
것에<sup>16)</sup> 비하면 본 실험에서 얻어진 80 N/mm<sup>2</sup>의 소열정확도는 특기할만 하다. 그림에서 보는 바와 같이 F의 경우에는 예비변형이 작을수록 소열정확도가 증가하므로 소성가공후의 박판제품의 강도가 보다 균일해지는 것을 짐작할 수 있으며, 실제로는 차체성형후의 변형을 분포를 구하여 소열후의 최종 항복강도를 산출할 수 있다. 한편 소열정확도는 압연 45° 방향에 일때에 더욱 증가하며, 초기 항복강도도 압연 45° 방향이 일때가 가장 높으므로, 제품 생산시 충격을 많이 받는 방향을 45° 방향이 되게 가공하면 강도면에서 보다 좋은 효과를 얻을 수 있다.



a) 0° to rolling direction



b) 45° to rolling direction



c) 90° to rolling direction

Fig.4 Bake Hardening Strength vs. Prestrain in each Bake Hardening Case

소열경화도의 증가정도를 각 소열처리 경우 별로 도시한 것이 Fig.5이다. 이 경우 각각의 소열처리 과정에 따른 소열경화도의 증가를 예비변형에 따라 쉽게 판독할 수 있으며, B, C, D, E의 경우에는 예비변형이 2~10% 정도일 때 소열경화도의 증가 정도가 비슷함을 알 수 있다. 그러나 예비변형이 없는 경우에는 각 경우에 따라 소열경화도의 증가 정도가 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.

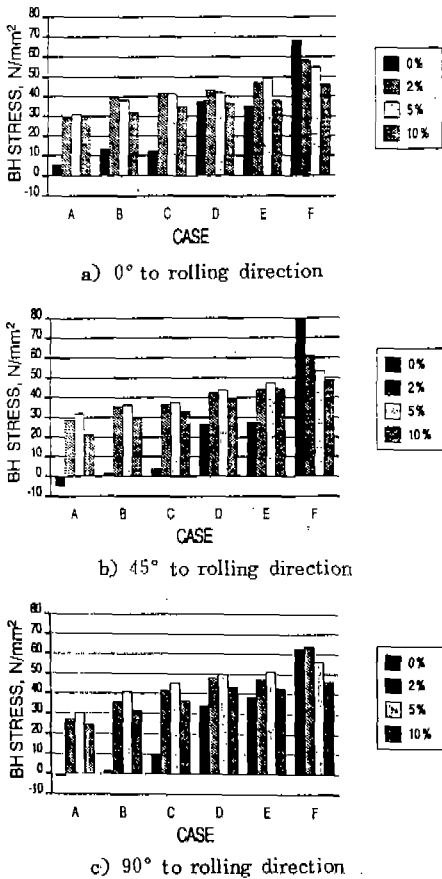
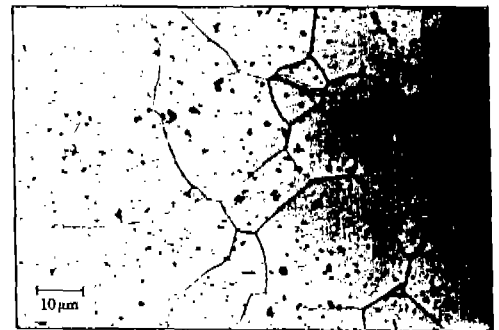


Fig.5 Comparison of Bake Hardening Strength with respect to Prestrains and Bake Hardening Cases

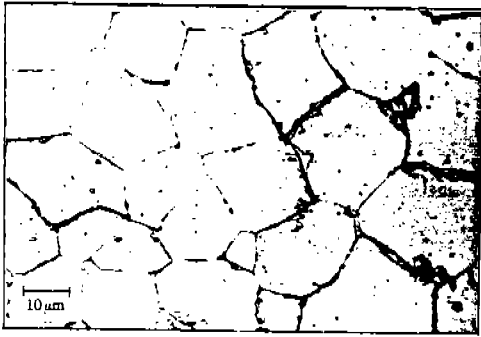
특히 C, D의 경우를 관찰하여 보면 각 경우 모두 200°C로 소열처리하였으나 C의 경우는 14분간 D의 경우는 24분간 소열처리한 것으로, 예비변형이 있을 때에는 소열경화도의 증가가 미미하나, 예비변형이 없는 경우에는 소열처리시간이 길수록 소열경화도가 크게 증가함을 알 수 있다. 따라서 소열처리시간을 더 길게 하면 예비변형이 없는 부분의 강도를 증가시킬 수 있음을 예측할 수 있다. 이것은 E, F의 경우에도 비슷한 경향을 보인다.

Fig.6의 조직사진을 분석하여 보면 경화도의 증가경향을 쉽게 설명할 수 있다. A의 경우에는 초기상태의 조직과 큰 차이를 찾을 수 없으나, B의 경우부터는 결정립계에 탄소가 석출되는 현상을 관찰할 수 있으며 C, D의 경우에는 탄소가 결정립계에 석출되어 결정립계가 두꺼워지는 것이 현저하게 나타난다. E, F의 경우에는 결정립계 뿐만이 아니라 입자내에도 탄소가 석출되고 있음을 알 수 있으며, 특히 F의 경우에는 탄소가 결정립내에도 매우 고르게 석출되어 강도가 증가할 것을 쉽게 짐작할 수 있다. 또한 이의 영향으로 F의 경우는 시편의 색깔도 현저히 변하여 누런 색을 띄게 된다. 부식정도도 차이가 나며 A, B의 경우에는 상온부식정도가 원래 시편과 별 차이가 없으나 F의 경우에는 부식이 매우 빨리 진행된다.

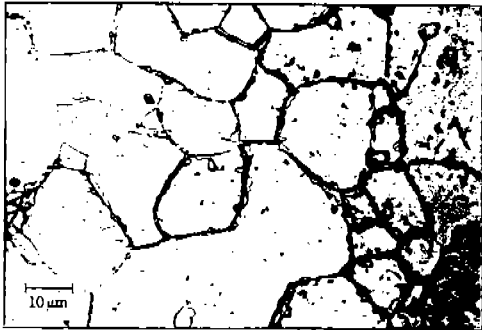


a) Case A

Fig.6 Variation of Microstructures in Bake Hardened Steel Sheets



b) Case B



c) Case D



d) Case F

한편, 연신율과 최대인장강도의 각 경우에 대한 비교는 Table 3을 통하여 알 수 있다. Table 3에는 압연방향에 90°인 시편에 대한 측정치를 예시하였으며, 그 이유는 소열처리에 따른 연신율의 변화가 다른 경우에 비교하여 제일 큰 차이를 보였기 때문이다. 대개의 경우에는 각 시편의 연신율과 최대인장강도는 큰 편차가 없으나, 예외변형이 커지고 소열정도가 높아질수록 최대인장강도는 증가하

Table 3 Elongation (%) and Maximum Tensile Strength(N/mm<sup>2</sup>) of Bake Hardened Steel Sheets(90° to rolling direction)

Prestrain Case	0 %	2 %	5 %	10 %
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

고 연신율은 감소함을 알 수 있다. 특히 F의 경우에는 연신율은 15% 정도 감소하나 최대인장강도는 10% 정도로 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 높은 항복강도가 최대인장강도가 보장되므로 차량충돌 파손시에 요구되는 고변형에너지 면에서는 유리한 특성이라 할 수 있다.

### 5. 결 론

최근 구미 각국에서는 연속폴림처리 소열경화 강판의 생산량이 급격히 늘고 있고, 그 응용도 다양해지고 있다. 그중 대표적인 것이 자동차 차체성형이며, 이는 자동차 생산설계의 중요한 목표중의 하나인 차량중량절감에 결정적 역할을 할 수 있기 때문이다. 본 논문에서는 우리나라에서도 생산라인의 수정없이 제조가능한 일괄폴림처리 소열경화 강판의 소열경화 특성에 대하여 실험·연구하였다.

실험적으로 제조한 일괄 폴림처리된 소열경화 강판은 온도가 150℃에서부터 250℃까지 증가함에 따라 소열경화도가 증가한다. 한편 소열경화도는 소열시간의 증가에 따라서도 증가함을 알 수 있었다. 소열경화는 변형이 작을수록 높게 일어나며 변형이 커질수록 낮게 일어나 점근현상을 보인다. 이 결과로부터 성형된 차체의 항복강도가 보다 균일하게 되는 이점이 있음을 알 수 있었다.

소열경화에 의한 강도 증가는 250℃로 25분간 소열하였을 때 최대 80N/mm<sup>2</sup>가 되어



초기 항복강도  $200\text{N/mm}^2$ 에 비하여 약 40%까지 항복강도를 증가시킬 수 있음을 알 수 있다. 이것은 실험적으로 일괄 풀림처리되어 제조한 강판의 소열경화성이 우수함을 보여준다. 차체 성형시의 평균 변형율을 5%로 가정하고 도장소열처리를 하면 초기 항복강도  $200\text{N/mm}^2$ 로부터 가공경화에 의해 약  $75\text{N/mm}^2$  소열경화에 의해 약  $55\text{N/mm}^2$ 가 증가하여 최종 항복강도  $330\text{N/mm}^2$ 의 높은 강도 증가 효과를 얻을 수 있다.

본 실험에서 구한 소열특성에 관한 결과는 상업용 연속풀림처리 소열강판의 소열특성과 거의 유사하였다. 따라서, 소열경화 강판을 사용한 차체설계시에는 본 실험에서 구한 소열경화도에 대한 자료를 참고하면 차체의 도장소열공정처리에 따른 차체의 최종 항복강도의 산출에 도움이 될 것이다.

### 참 고 문 헌

1. Evancho, J.W. and Kaufman, J.G., New 6XXX-Series Alloys for Auto Body Sheet, SAE Paper 770307 (1977)
2. Krupitzer, R.P. et al, Progress in HSLA Steels in Automotive Applications, SAE Paper 770162 (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 Continuously 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 Working Group Meetings (1987)
9. Bleck, W., Junius, H. T., Müschenborn W., and Schlaphof W., Comparison of Batch and Continuously Annealed Bake-hardening Steels, IDDRG Working Group Meetings (1987)
10. Drewes, E.J., New Steels for Body Sheet Application, IDDRG Working Group Meetings (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., Contingeglühte 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. Okamoto, A., Takahashi, M. and Hino, T., Development of Bake-Hardenable Al-killed Steel Sheet by Box-annealing Process, Trans. ISIJ. Vol.21, pp.802-811 (1981)
16. Hoesch Stahl AG Lieferprogramm.