

<論 文>

# 複合組織鋼의 衝擊破壞舉動에 영향을 주는 마르텐사이트 體積率의 效果

宋 森 弘\* · 吳 澤 烈\*\* · 張 科 秀\*\*\*

(1983年 5月 9日 接受)

## Effects of the Martensite Volume Fraction on the Behavior of Impact Fracture of Dual Phase Steels

Sam Hong Song, Taek Youl Oh and Doo Su Chang

### Abstract

Use of dual phase steel are growing for its high strength and light weight in automobiles. The effect of the martensite volume fraction with various impact velocities on the strength, ductility and absorbed energy of dual phase (ferrite-martensite) steels were investigated in low carbon 1.5% Mn steels which were soaked at 700°C, 730°C, 780°C and 818°C, and brine quenched. Both the yield load and the maximum impact load increased when the martensite volume fraction increased, the loading time and the absorbed energy of the specimen decreased when the martensite volume fraction increased.

### 1. 序 論

現在 自動車의 輕量化에 따라 많은 관심이 集中되고 있는것이 自動車에 널리 사용되고 있는 複合組織鋼(dual phase steel)이다. 즉 複合組織鋼은 낮은 降伏強度, 높은 延伸率, 또는 높은 加工硬化등을 가지며 延性和 強度를 目的에 따라 混合시킬 수 있기 때문이다. 따라서 複合組織鋼의 機械的인 特性을 改善시키기 위한 從來의 研究경향을 보던 鈴木<sup>1)</sup>, T. Kunio<sup>2)</sup> 및 皆川<sup>3)</sup> 등은 金屬組織學的인 觀點에서 第2相인 마르텐사이트 組織을 母相에 混合시켰을 때 引張強度가 마르텐사이트 形態에 따라 變化한다는 研究報告가 있고, M.R. Raship<sup>4)</sup> 등은 引張試驗을 통하여 複合組織鋼의 變形 및 成形性에 관하여 연구 하였으며, R.G. Davis<sup>5)</sup>, 齊藤, 內山<sup>6)</sup>

및 F. Luis<sup>7)</sup> 등은 引張試驗을 통하여 페라이트 體積率 이 增加와 더불어 延性이 變化하고 또한 引張強度는 페라이트 體積率의 變化와 밀접한 關係를 갖는다는 研究報告도 있다. 그리고 金<sup>8)</sup>, 石原<sup>9)</sup> 등은 引張試驗 및 疲勞試驗을 통하여 疲勞破壞舉動과 複合組織鋼과의 關係를 연구하였다. 한편 J.Y. Koo<sup>10)</sup>, 大野<sup>11)</sup>, 宋<sup>12)</sup> 등은 衝擊試驗을 통하여 衝擊破壞와 金屬組織과는 밀접한 關係가 있다고 報告하고 있으며 특히 破壞靱성은 어니 일링溫度에 따라 다르다는 報告도 있다.

이상과 같이 대부분의 연구결과들은 주로 인장시험을 통하여 複合組織鋼의 機械的인 性質을 向上시키는 데 努力되어 왔다고 생각된다. 그런데 衝擊 荷重下에서의 複合組織鋼의 機械的인 性質 및 破壞舉動을 마르텐사이트 體積率과 관련시켜 연구된 論文은 찾아 볼 수 없었다.

따라서 本 研究에서는 마르텐사이트 體積率을 變化시킨 4種類의 複合組織鋼을 준비하고 이것에 衝擊荷重을 段階的으로 加했을 때의 機械的인 特性과 破壞學

\* 正會員, 高麗大學校 工科學科 機械工學科

\*\* 正會員, 高麗大學校 大學院, 現 慶熙大 機械科 근무

\*\*\* 正會員, 高麗大學校 大學院, 現 韓國에너지研究所 大德工學센터 근무

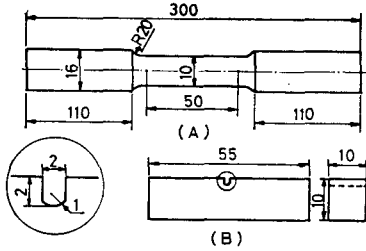
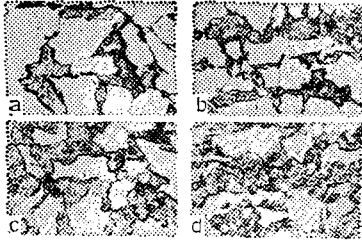


Fig. 1 Geometries of specimen (unit : mm)



(a) M<sub>1</sub> series (b) M<sub>2</sub> series  
(c) M<sub>3</sub> series (d) M<sub>4</sub> series

Photo 1 Microstructure

動을 考察했다. 特히 本報에서의 第2相인 마르텐사이트 體積率과 衝擊荷重速度를 變化시켰을때 變化하는 衝擊荷重—時間曲線의 特徵을 토대로, 衝擊強度, 延性 및 吸收에너지의 變化등을 연구하였다.

2. 실험방법

Table 1에는 本實驗에 사용한 低炭素 망강鋼의 化學成分을 나타내고, 引張試驗片은 KS B0801의 4호를, 衝擊시험편은 KS B0809의 가호를 사용하였으며 그 모양은 Fig. 1에 각각 나타낸다. 일반적으로 複合

Table 1 Chemical composition (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
0.20	0.24	1.50	0.01	0.017	0.01	0.03	0.01	0.01

Table 2 Heat treatment condition

Specimen No.	Setting temperature (°C)	Calibration temperature (°C)	Holding time (min)	Cooling method
M <sub>1</sub>	680	700	30	Brine quenching
M <sub>2</sub>	700	730	30	Brine quenching
M <sub>3</sub>	750	780	30	Brine quenching
M <sub>4</sub>	708	818	30	Brine quenching

Table 3 Theoretical and experimental martensite volume fraction

Specimen No.	Calibratoion temperature (°C)	Theoretical martensite V.F(%)	Experimental martensite V.F(%)
M <sub>1</sub>	700	23.3	24.7
M <sub>2</sub>	730	31.6	33.2
M <sub>3</sub>	780	52.7	53.2
M <sub>4</sub>	818	75.6	78.4

組織鋼을 얻기위한 熱處理 方法으로서는 여러방법이 있으나 本實驗에서는 Photo 1과 같이 마르텐사이트 體積率을 4種類로 變化시킬 目的으로 Table 2와 같은 熱處理 조건을 택했다. 이때 사용한 熱處理爐는 爐 中央에 赤外線 복사열을 집중시킬수 있는 直立式 원통형 熱處理爐이다.

또 試驗片의 酸化 및 脫炭을 防止하기 위하여, 시험편은 알곤분위기에서 열처리 하였다. Table 2에 기술한 셋팅온도(setting temperature)란 熱處理爐에 이미 연결되어 있는 조절기에 나타나는 溫度를 의미하며 캘리브레이션 온도(calibration temperature)란 熱處理 溫度의 正確性を 확인하기 위하여 알-타입(R-type) 熱電對를 별도로 熱處理爐內的 中央에 삽입하여 측정 한 溫度이다. 따라서 前者와 後者の 溫度差는 약 30° 정도임을 알았다.

이와같은 확인을 한후 시험편을 熱處理 하였는데 그 결과 얻어진 시험편의 마르텐사이트 體積率은 Table 3과 같다. 本實驗에서 記述하는 마르텐사이트 體積率이란 母相인 페라이트와 第2相인 마르텐사이트가 차지하는 全體積에 대한 마르텐사이트가 차지하는 百分率을 말한다. 마르텐사이트 體積率은 線形分析方法을 사용하여 구하였고, 이 결과를 확인하기 위하여 理論 體積率<sup>13)</sup>과 比較 하였다. 시험편은 마르텐사이트 體積率이 약 24.7%, 33.2%, 53.2%, 및 78.4%인 것을 편의상 차례로 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> 및 M<sub>4</sub> 재료 각각 칭하기로 하였다. Fig. 2에는 각 시험편의 인장시험(하중속도는 스트레인 比率이  $\frac{2}{100}$  이하의 매우 느린 속도)하에서 얻어진 機械的인 性質을 나타낸다. 충격시험기는 충격이 가해지는 매우 짧은 시간내에 시험편에 발생하는 여러 現象을 순간적으로 探知하기 위하여, 스트레인 게이지가 내장된 로우드셀을 부착한 살피충격시험기를 사용하였다. 增幅器 및 싱크로우스코프를 사용하여 실험중에 얻어지는 出力(volt)—時間(m·sec)曲線을 衝擊

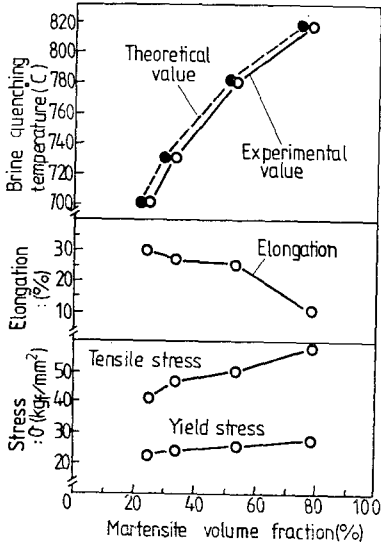


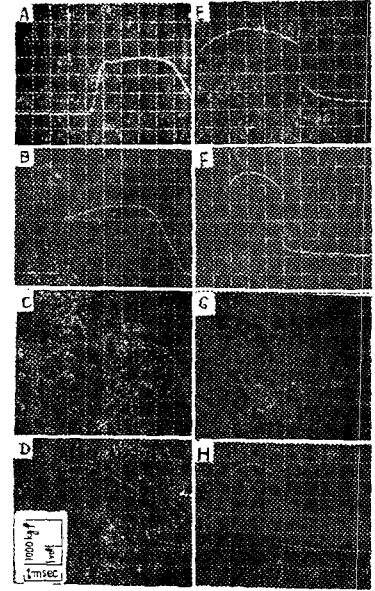
Fig. 2 Relationship among martensite volume fraction and stress, elongation and brine quenching temperature

荷重—出力較正表로 환산하여 衝擊荷重(kgf)—時間(m·sec)등으로 計算하고 또다시 그것을 환산하여 데이터를 정리하였으며, 必要에 따라 이러한 資料 및 순간 상태를 포착한 寫眞資料들을 상세히 分析·考察하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 衝擊荷重-時間曲線의 特徵

母相에 대한 마르텐사이트 體積率을 4 種類로 變化시킨 複合組織鋼의 衝擊荷重—時間曲線의 特征을 알아 보기 위하여 瞬間충격속도를  $v=0.94\text{m/sec}$ 에서  $v=5.13\text{m/sec}$ 까지 8 단계로 變化 시켰을 때의 일례를 Photo 2에 나타낸다. 일반적으로 R.F. Bunshah<sup>14)</sup>는 충격하중—시간곡선의 선도를 Fig. 3과 같이 해석하고 있으며, 本 實驗에서 얻은 Photo 2의 경우도 Fig. 3과 같이 解析可能함을 알 수 있다. Photo 2에서, 충격하중—시간곡선은 瞬間충격속도 약  $v=3.49\text{m/sec}$ (Photo 2의 D寫眞)를 기준으로 그 以前區間과 그 以後區間으로 나눌 수 있다. 즉, 本 實驗에서는  $v=3.49\text{m/sec}$ 보다 작은 區間에서의 충격시험편은 2 部分으로 分離破斷되는 巨視的인 破斷이 일어나지 않았고,  $v=3.49\text{m/sec}$ 보다 큰 區間에서는 2 部分으로 分離破斷되었다. 이러한 충격 시험의 破斷의 일례를 Photo 3에 나타낸다. 따라서 本 實驗에서 얻은 충격하중—시간곡선을 분류하면 Fig. 4(A),(B)의 形態와 같이 2 種類로 나눌 수 있고, 이 曲



(A)  $v=0.94\text{m/sec}$ . (E)  $v=3.83\text{m/sec}$ .  
 (B)  $v=1.85\text{m/sec}$ . (F)  $v=4.44\text{m/sec}$ .  
 (C)  $v=2.71\text{m/sec}$ . (G)  $v=4.91\text{m/sec}$ .  
 (D)  $v=3.49\text{m/sec}$ . (H)  $v=5.13\text{m/sec}$ .

Photo 2 Impact load-time curve of dual phase steel (ex.  $M_2$  series)

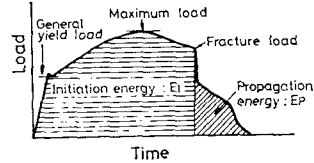
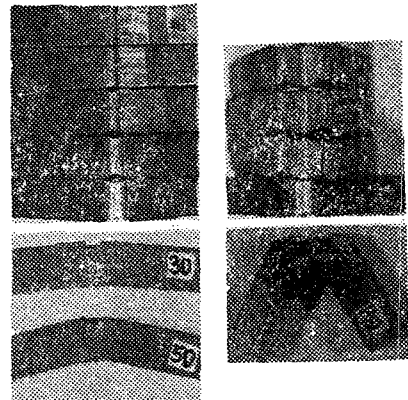


Fig. 3 Typical type of impact load-time curve in impact test<sup>18)</sup>



(a) Deformation of specimen ( $v=2.71\text{m/sec}$ ) (b) Final fracture of specimen ( $v=4.91\text{m/sec}$ )

Photo 3 Illustration of deformation and final fracture (ex.  $M_1$  series)

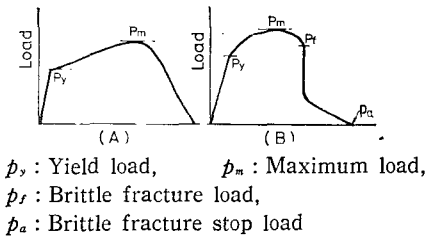


Fig. 4 Characteristics of impact load-time curve at dual phase steel

線中 (B)型的 경우는 R.F. Bunshah 가 주장하는 곡선의 形態와 유사하다. 시험편이 2部分으로 破斷되지 않는 Fig. 4(A)型的 경우, 시험편은 충격하중에 의하여 순간적으로 탄성한계를 지나서 降伏, 슬립과 동시에 塑性變形을 同伴하여 變形하기 시작하고, 그것은 荷重이 增加함에 따라 最大衝擊荷重( $p_m$ )에 도달한다. 이 경우, (B)型和 比較하면 衝擊速度가 비교적 작으므로 시험편은 2部分으로 分離되지 않고 따라서 시험편은 그 材料가 가지는 固有의 最大 衝擊荷重에 도달하지 못한채 서서히 荷重이 감소한다고 생각된다.

한편, 시험편이 완전히 分離破斷되는 Fig. 4의 (B)型곡선을 가지는 시험편은 衝擊荷重에 의하여 降伏 및 塑性變形이 생기며 그 材料가 가지는 固有의 最大 衝擊荷重에 도달한다. 그 후 시험편은 脆性破壞荷重( $p_f$ )에서 순간적으로 巨視的인 破斷이 시작되고 荷重도 급격히 低下하며 순간적으로 脆性破壞停止荷重( $p_a$ )에 도달한다. 이러한 과정중에 시험편은 순간적으로 2部分으로 分離破斷된다. 이상과 같은 (A)型和 (B)型的 곡선分類는 어느쪽도 순간적인 衝擊을 받는 짧은 瞬間時間內에 感知된 곡선을 충분히 확대시켜 分析함으로써만이 얻을 수 있다. 따라서 衝擊荷重下에서의 衝擊荷重-時間曲線의 形態는 R.F. Bunshah 가 주장하는 單一曲線形態가 아니고, 本 實驗結果에서는 충격속도  $v=3.49\text{m/sec}$  를 중심으로 시험편이 破斷되지 않는 區間에서의 曲線의 形態(Fig. 4(A)型)와 그것이 破斷된 후의 곡선의 形態(Fig. 4(B)型)로 나눌 수 있다. 이와같은 결과는 4 종류의 시험편에서도 유사하다.

### 3.2. 마르텐사이트 體積率에 따른 衝擊強度變化

마르텐사이트 體積率에 따라 衝擊強度가 어떻게 變化하는가를 考察하기 위하여 引張時에는 引張強度, 衝擊時에는 충격荷重을 각각 基準強度로 하여 이것들과 마르텐사이트 體積率과의 관계를 Fig. 5에 나타낸다. 引張強度 및 最大衝擊荷重은 마르텐사이트 體積率에 클

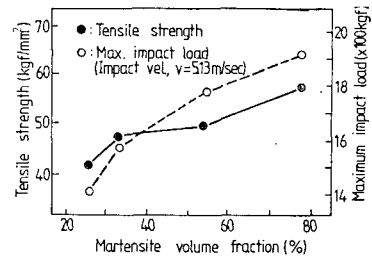


Fig. 5 The changes in tensile strength and maximum impact loads with martensite volume fractions

수록 각각 增加하고 있다. 本 實驗에서의 引張強度에 대한 결과는 他的 연구<sup>17)</sup>와 일치하는 경향을 보인다. 이러한 實驗結果에 대하여 混合則<sup>6)</sup>이 成立한다면 아래의 式은 사용가능 할 것이다.

$$\sigma^{mix} = \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f)$$

여기서,  $\sigma^{mix}$ 는 2相混合材의 強度,  $\sigma_f$ 는 페라이트 強度,  $\sigma_m$ 는 마르텐사이트의 強度를 의미하고,  $V_f$ 는 페라이트의 體積率을 나타낸다. 上記式을 사용하면, 2相混合組織의 強度는 얻어질 수 있고, 그 曲線은 線形的이 될 것이다. Fig. 5의 實驗結果에서 引張強度는 線形的이 아니고 非線形的이다. 따라서 本 實驗結果는 混合則에 의하여 說明할 수 없다. 그러나 田村<sup>16)</sup>의 연구를 고려하면 本 實驗結果는 다음과 같이 설명할 수 있겠다. 즉 2相混合組織의 衝擊強度는 結晶粒의 크기, 마르텐사이트 體積率 및 組織形態등을 고려한 페라이트와 마르텐사이트의 強度比에 의하여 좌우될 것이다. 특히 兩相의 強度比가 比較的 작은 경우는 混合則에 가까워지고, 그 反對로 큰 경우는 強度가 작은相이 少量 混合되어 存在해도 強度低下現象은 混合則으로부터 豫想되는 값들보다 큰 차이가 생긴다<sup>11)</sup>고 생각된다. 따라서 2相의 強度比는 페라이트량의 增加와 더불어 크게된다. 그러나 體積率의 增減을 결정짓는 熱處理溫度 및 유지시간등에 따라서 結晶粒(第1相 및 第2相)은 다르므로, Hall-Petch 式에 의한 強度變化도 考慮되어야 한다고 생각된다. 이상과 같은 強度에 대한 評價는 根本的으로는 瞬間衝擊速度下의 微小크랙發生 傳播舉動을 詳細히 考察하고 이것을 上述한 문제들과 관련시켜 檢討 함으로서 보다 더 信賴性있는 評價가 이루어질 것이다. 왜냐하면, 일례로서, 페라이트와 마르텐사이트 組織鋼의 疲勞破壞舉動에서 크랙發生은 페라이트內의 슬립밴드 및 結晶境界面에서 微視크랙이 發生한 후 그것이 점차적으로 傳播하는 과정에서 마르텐사이트에 의하여 저지됨으로 疲勞強度가 向上되기 때문

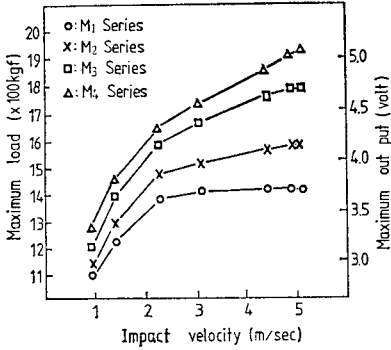


Fig. 6 The changes in maximum loads with impact velocities for varying martensite volume fractions

이다<sup>15,16</sup>. 따라서 衝擊強度 및 最大衝擊荷重의 크기는 第1相과 第2相의 強度比에 의하여 크게 좌우되며 또한 最大衝擊荷重의 大小는 衝擊強度를 代表할 수 있는 尺度라고 생각된다.

한편, 最大 衝擊荷重과 마르텐사이트 體積率과의 관계를 좀더 詳細히 高찰하기 위하여 衝擊速度를  $v=0.94\text{m/sec}$ 에서  $v=5.13\text{m/sec}$ 까지 8段階로 變化 시켰을때 얻어진 結果를 Fig. 6에 나타낸다. Fig. 6에서 最大 衝擊荷重은 마르텐사이트 體積率이 큰 材料 일수록 큰 값을 나타내었다. 또 각 재료의 曲線의 勾配는  $v=0.94\sim 2.29\text{m/sec}$  區間에서는 매우 급격하나,  $v=2.29\text{m/sec}$  以上の 區間에서는 대체로 일정하며 마르텐사이트 體積率이 작을수록 완만하다. 이러한 曲線勾配의 變化는 前述한 第1相과 第2相의 體積率 및 強度比에 의하여 설명될 수 있다고 생각되나, 앞으로 좀더 具體的인 實驗을 바탕으로 그 檢討가 요망된다.

### 3.3. 마르텐사이트 體積率에 따른 延性變化

일반적으로 材料는 強度가 增加하면 延性は 減少한다. 그러나 強度가 增加함에 따라서 延성이 그다지 크게 減少하지 않는것이 複合組織網의 特徵의 하나이다. 이러한 관계를 알아보기 위하여 4種類로 變化시킨 마르텐사이트 體積率에 따른 全延率 및 荷重作用時間과의 관계를 Fig. 7에 나타낸다. 延伸率과 荷重作用時間은 마르텐사이트 體積率이 커질수록 減少하는 경향을 나타낸다. 또 Fig. 8은 하중작용시간과 衝擊速度와의 관계를 정리한 것이다. 荷重作用時間은 衝擊速度의 增加에 따라서 一定하게 增加하지 않으며, 衝擊速度는 어떤 遷移點에서 갑자기 減少한다. 따라서  $M_4$  材를 除外하면 각 시험편에 나타나는 遷移點은 마르텐사이트 體積率이 점점 커지는  $M_1, M_2, M_3$  試驗片順으로 각각  $v=$

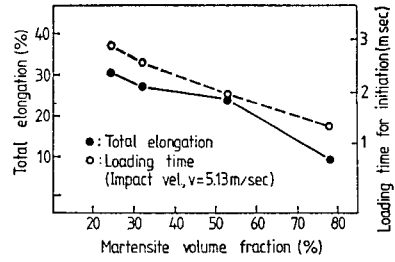


Fig. 7 The changes in total elongations and loading times with martensite volume fractions

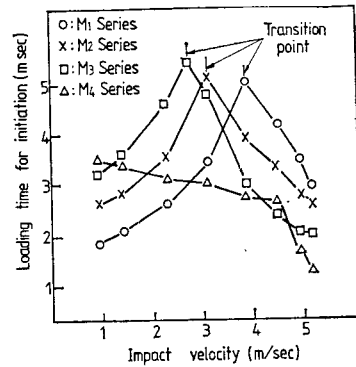


Fig. 8 The changes in loading times with impact velocities for the varying martensite volume fractions

$3.83\text{m/sec}$ ,  $v=3.11\text{m/sec}$ ,  $v=2.71\text{m/sec}$  근방에서 나타났으며 最大荷重 作用時間은 이러한 遷移點에서 가장 길다는 것을 알 수 있다. 따라서 각 試驗片은 荷重作用 時間이 이러한 遷移點 근처에 도달 했을때 2部分으로 破斷된다고 생각된다. 그러나 最大荷重作用을 나타내는 각각의 衝擊速度는 마르텐사이트 體積率의 增加에 따라 오히려 減少하고 있음을 알 수 있다.

### 3.4. 마르텐사이트 體積率에 따른 吸收에너지의 變化

마르텐사이트 體積率의 變化에 따른 吸收에너지의 變化를 Fig. 9에 나타낸다. 마르텐사이트 體積率이 작을수록 吸收에너지량은 同一 衝擊速度에서 커진다. 吸收에너지의 增加추세는 마르텐사이트 體積率의 增減에 관계없이 각 시험편의 巨視的인 破斷을 일으키는 速度를 기준으로 그 以前區間에서는 거의 一定하나, 그 以後區間에서는 마르텐사이트 體積率이 增加 할수록 점점 減少하는 경향을 나타낸다. 이와같은 결과는 다음과 같이 생각할 수 있다. 즉  $M_1, M_2, M_3$  및  $M_4$  材의 마르텐

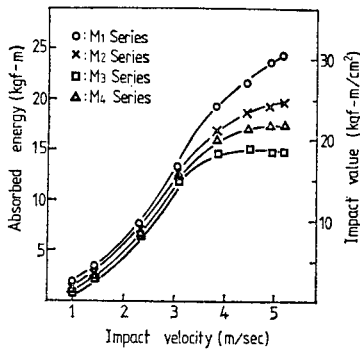


Fig. 9 The changes in absorbed energies with impact velocities for varying martensite volume fractions

사이트 體積率은 각각 24.7%, 33.2%, 53.2% 및 78.4%이며 페라이트 體積率은 反對로 각각 75.3%, 66.8%, 46.8% 및 21.6%이다. 따라서 3.2節의 強度에 대한 考察을 參考로 하면 에너지吸收量은 延性を 나타내는 페라이트組織과 脆性を 나타내는 마르텐사이트組織 各各의 強度比 또는 그것들이 體積率에 의하여 좌우된다. 또한 Fig. 9에서 遷移點 以後 區間에서의 M<sub>4</sub>材의 衝擊에너지量을 나타내는 曲線이 M<sub>3</sub>材의 그것보다 높게 나타나는 경향이 보인다. 즉, 本 實驗結果의 M<sub>3</sub>材의 마르텐사이트 體積率은 53.2%이고, M<sub>4</sub>材의 그것은 78.4%이다. 이러한 曲線의 특징에 대해서는 齊藤<sup>6)</sup>, 田村<sup>17)</sup> 등의 연구결과를 토대로 앞으로의 檢討가 요망된다.

#### 4. 結 論

본 연구에서는 複合組織鋼의 마르텐사이트 體積率을 4段階로 變化시키고, 衝擊速度를 8段階로 變化시켰을 때의 얻어지는 衝擊荷重-時間曲線의 特徵을 토대로 衝擊破壞強度, 延性 및 吸收에너지의 變化를 考察하였는데 얻어진 結果를 要約하면 다음과 같다.

(1) 마르텐사이트 體積率의 增減에 관계없이 衝擊荷重-時間曲線은 試驗片의 巨視的인 破斷有無에 따라서 2形態로 나눌 수 있다.

(2) 衝擊強度의 性質은 第1相과 第2相의 體積率, 結晶粒의 大小, 및 強度比등에 의하여 좌우된다.

(3) 衝擊速度의 크기는 最大衝擊荷重의 大小로서 나타낼 수 있고 最大衝擊荷重은 마르텐사이트 體積率이 增加 할수록 增加한다.

(4) 衝擊時 延性は 荷重作用時間의 長短으로서 나타

낼 수 있고, 荷重作用時間은 마르텐사이트 體積率이 增加 할수록 減少한다.

(5) 吸收에너지量은 각 시험편에 巨視的인 破斷이 일어나기 以前區間에서는 마르텐사이트 體積率의 大小에 관계없이 衝擊速度에 따라 거의 일정하게 增加하는 경향을 보인다.

#### 후 기

本 研究 수행에 있어서 試驗器를 제공해주신 忠南大學校 翁장우教授, 熱處理設備를 提供해주신 韓國科學技術院 김중휘教授, 그리고 試驗片 素材를 제공해준 浦項製鐵株式會社 製鋼研究室 조승범氏에게 각각 感謝드립니다.

#### 參 考 文 獻

- (1) 鈴木, 清水 國尾 山田, 不均質組織을 有する鋼材의 變形破壞舉動, 日本機械學會論文集 Vol. 40, No. 329, p.23-30, 1974.
- (2) T. Kunio, K. Yamada, M. Shimizu, An Effect of the Second Phase Morphology on the Tensile Fracture Characteristics of Carbon Steels, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 7, p.411-417, 1975.
- (3) 皆川, 石川, 國尾, 破壞靱性を 支配する金屬組織 因子의 研究, 日本機械學會論文集, Vol. 41, No. 351, p.3033-3039, 1975.
- (4) M.R. Raship, Relationship between Steel Microstructure and Formability, Formable HSLA and Dual Phase Steels, Edited by A.T. Davenport, TMS-AIME, p1, 1977.
- (5) R.G. Davies, On the Ductility of Dual Phase Steels, Formable HSLA and Dual Phase Steels, Edited by A.T. Davenport, TMS-AIME, p.25, 1977.
- (6) 齊藤, 內山, 2相混合組織をもつ 0.2% C-Ni-Cr-Mo 鋼의 引張特性と破壞靱性について, 日本鐵と鋼, Vol. 63, No. 3, p.478-487, 1977.
- (7) F. Luis, D.K. Matock, G. Kranss, One Deformation Behavior of Dual Phase Steels, Metallurgical Transaction A, Vol. 10, p.259-261, 1979.
- (8) 金楨圭, 清水, 國尾, 複合組織鋼의 破壞舉動에 關한 内部應力의 影響について, 日本機械學會論文

- 集 Vol. 46, No. 402, p.173-179, 1980.
- (9) 石原, 2相鋼の 高平均應力下における 疲労き裂の 組織選擇性, 日本金屬學會誌, Vol. 47, No. 1, p.67-72, 1983.
- (10) J.Y. Koo, G. Thomas, Metallurgical Factors Controlling Impact Properties of Two Phase Steels, Scripta Metallurgica, Vol. 13, p.1141-1145, 1979.
- (11) 大野, 熱田, 低合金における フェライト-マルテンサイト 2相混合組織の 機械的性質, 日本工學院大學 研究報告(東京), Vol. 46, p.21-28, 1979.
- (12) 宋森弘, 金奎生, 複合組織鋼の 破壊靱性と破壊舉動, 大韓機械學會論文集, Vol. 5, No. 2, p.110-121, 1981.
- (13) G. Thomas, Ductile of Duplex Ferrite-Martensite Steels, Structure and Properties of Dual Phase Steels, Edited by R.A. Kot, J.W. Morries, TMSAIME, p.183, 1979.
- (14) R.F. Bunshah, Techniques of Metals Research, Vol. 5, No. 2, p.103, 1971.
- (15) 續木, 清水, 國尾, 疲労微視き裂生成舉動におよぼすすべり特性舉動, 日本機械學會論文集, Vol. 46, No. 408, p.870-877, 1980.
- (16) 酒本, 清水, 續木, Ferrite-Martensite 鋼の初期段階疲労舉動, 日本機械學會論文集, Vol. 47, No. 424, p.1257-1265, 1981.
- (17) 田村, 友田, 山岡, 金谷, 2相混合組織をもつ鐵合金の強度と延性について, 日本鐵と鋼, Vol. 59, No. 3, p.454-468, 1973.