

鍛造 技術의 現狀과 展望

김 동 원
한국 소성가공학회장

단조 기술은 주조 기술과 함께 금속에 대한 가공 기술로서 가장 오랜 역사를 지닌 것으로, 특히 철강계의 인류 문명에 대한 공헌을 가능케 하는데 결정적인 역할을 수행하였다고 하여도 과언이 아니다. 단조 기술은 현대에 있어서도 소성가공기술 중에서 그 원류의 위치를 견지하고 있음은 사실이다. 그러나 단조 기술은 오늘날 여러가지의 새로운 가공 방식과 경합하여야 하는 위치에 있으며, 이 때문에 작업 합리화와 경비 절감을 통한 경쟁력 강화가 무엇보다도 요망되고 있다. 사실상 단조 기술의 과거 30~40년간에 걸친 제반 개선 방향과 발달 방향의 근원은 여기에서 비롯된다. 이러한 관점에서 본고에서는 단조기술의 현황과 단조 연구의 현상에도 약간 언급코져 한다.

1. 鍛造의 特徵

鍛造라고 한마디로 하여도 그 내용은 ∞ ? 廣範하다. 鍛造는 元來 塊狀의 素材를 再結晶 溫度 以上으로 加熱하여 打擊 또는 加壓하므로써 成形하는 熱間 鍛造로부터 시작하였으나 오늘날 塊狀物뿐 아니라 形狀에 있어서도 긴 것, 납적하고 扁平한 것, 中空形 等 形態에 있어 多様な 部品을 生産할 뿐 아니라 素材의 材質面에서도 鐵鋼材를 비롯하여 各種 工業用 金屬이 對象이 된다. 또한 上述한 熱間 鍛造뿐 아니라 素材의 再結晶 溫度 以下에서의 鍛造 作業인 冷間 鍛造나 溫間 鍛造도 있다. 工具도 金屬製의 간단한 自由鍛造型이나 製品 形狀에 맞춘 型鍛造型이 있는가하면 roll 鍛造의 경우같이 roll도 이용된다. 加工 機械도 hammer나 press외에 使用 目的에 따라 여러가지 種類가 있다. 따라서 鍛造란 金屬 塑性 加工 技術의 하나의 複合體라고 볼 수 있다. 그러나 그 特徵을 要約해보면 鍛造에 共通하는 것으로 素材의 두께, 높이, 나비, 또는 지름을 줄이기 위하여 工具에 의한 높은 壓縮 應力이 作用한다는 점이다. 이러한 壓縮 應力の 크기는 最少限 素材 材料의 變形 強度(材料의 流動 應力)이며, 보통 그의 數倍까지 이른다. 이러한 共通되는 特徵으로 長短점이 必然의으로 따르게 되는데 이를 分類하여 보면 以下와 같다.

長點

(a) 大變形이 可能하다.

높은 靜水壓應力下에 놓이게 되므로 材料는 1工程으로도 큰 變形이 可能해진다. 이는 素材 形狀에 높은 自由度를 許容하게 되므로 加工의 經濟性이 向上된다. 그뿐더러 大變形은 結晶粒의 微細化, 介在物의 粉碎, 鍛流線의 形成, 冷間 加工에서의 加工 硬化 등으로 鍛造品에게 다른 生産 方法에 의하여 만들어진 部品보다도 높은 材質 信賴性과 높은 強度와 延性を 保障하게 된다. 이것이 鍛造加工이 다른 競合되는 加工 方法에 比하여 優位에 서고, 그 地位를 堅持하는 첫째가는 理由이다.

(b) 變形과 아울러 接合이 可能하다

鍛造材의 void의 密着, 異種 金屬의 接合에 의한 클래딩이나 複合材의 製造, 粉末 金屬의 燒結 壓着이 可能的한 바 이들은 모두 高壓力과 그로 因한 變形의 結果로 可能的한 것이다.

(c) 複雜, 精密한 成形이 可能하다

큰 壓力과 그로 誘起되는 大變形으로 型의 細部 구석까지 材料가 充滿하여 型대로의 複雜한 形狀을 만들 수 있다. 특히 冷間 鍛造에서는 型과 같은 程度의 치수 精度와 表面 상태를 얻게 되어, 後加工이 不必要하게 되어 經濟的으로 有利하다.

以上の 長點에 反하여 短點들은 다음과 같다.

(a) 工具費가 高價이다.

大壓力의 作用으로 材料의 큰 流動의 結果, 큰 摩擦이 發生하여 工具 材料나, 그의 熱處理 및 加工이 모두 高價로 된다. 工具 構造도 갈수록 複雜하여져 가는 傾向에 있으므로, 工具의 設計 製作이 더욱 高價로 되는 傾向에 있다.

(b) 加工機械가 高價이다.

大壓力은 加工 機械에 큰 荷重을 주게 되며 機械에 高強度와 高剛性이 要求되며 耐衝 擊性도 要求된다. 特히 精密 鍛造의 경우는 高剛性에 대한 要求가 嚴格하다. 熱間 鍛造의 경우는 熱의 影響도 考慮되어야 하며 自然 機械는 高價 일 수 밖에 없다.

(c) 素材의 準備費가 高價이다.

鍛造용 素材의 切斷에서는 切斷 技術에 特別한 注意가 必要하며, 熱間 鍛造에서는 適切한 溫度로의 均一 加壓, 또는 冷間 鍛造의 경우 鋼의 球狀化 아닐링이나 潤滑 問題 등이 모두 原價를 上昇시킨다. 切削 加工 餘裕를 되도록 줄이기 위한 對策이 必要하다.

(d) 完成 加工費가 所要된다.

切削 加工 餘裕가 完成 加工을 위하여 必要해지는 바, 이는 加熱에 의한 酸化膜과 脫炭層 除去, draft에 의한 다듬질 除去 加工, 大壓力에 의한 工具의 처짐과 摩滅에 對한 補完 등이 그 原因이 되고 있다.

(e) 安全, 公害 對策費가 高價이다.

大壓力을 急速히 作用시키는 鍛造 作業은 作業者를 危險에 노출시키며, 큰 騒音과 振動을 作業者나 周圍에 주게되므로 이에 대한 對策費가 다른 加工法에 比하여 高價가 된다.

以上과 같이 鍛造에 對한 長短점을 列擧하여 보았으나, 오늘날 鍛造와 競合하는 加工法은 한두가지가 아니며, 鍛造 加工法의 끊임없는 技術 改善이 없이는 競合이 어려워지고, 鍛造의 터전을 侵食 當하는 結果를 招來할 可能性이 있다. 主要한 競合 相對로는 鑄造, 切削, 燒結, 鎔接, 플라스틱 部品 等이다.

이들 加工法의 새로운 發展에 對하여 銳意 注意를 기울이지 않는 것은 鍛造의 새로운 技術을 생각하는데 있어서, 또한 鍛造의 現狀을 反省하고 將來를 豫測하는데 도움이 될 것이다.

2. 鍛造 技術의 現狀과 發展 動向

2.1 鍛造 技術의 現狀

우리나라에서의 鍛造品の 精確한 生産量은 알 수 없으나, 近年의 自動車 工業의 發展으로 近年에 들어 꾸준히 上昇되고 있을 것으로 推測된다. 이웃나라 日本의 경우 鍛造品(熱, 冷間 包含)의 1/2 以上이 自動車 産業用이라 하며, 重産 乘用車의 1臺當 約 100kg의 鍛造品이 使用되고 있고 이 중 2/3가 熱間, 1/3이 冷間 鍛造品이라 한다. 以上の 資料는 우리나라의 鍛造品 生産量을 推測하는데 多少의 參考가 되지 않을까 한다.

한편 表 1은 1989년에 한국산업은행이 발표한 "국내 4차 기술의 現狀 및 육성 방안" 보고서에서 발췌한 것이다. 이

표로 보듯이 先進國에 比하여 10年 以上の 格差를 가진 比率이 가장 높은 것은 設計 技術 다음으로 精密 鍛造 技術이 차지하고 있다. 이는 生産 技術 中 가장 뒤진 部門이 精密 鍛造 技術이라는 이야기이며, 우리 나라 鍛造 技術의 全般적인 現住所를 如實히 드러낸 것이라고 보아야 할 것이다. 이 事實은 또한 機械 生産에서 鍛造 技術이 차지하는 比重으로 볼 때, 우리의 機械 工業이나 機械 技術의 脆弱性을 象徵하는 것이기도 하다.

표 1 공업 기술 수준 평가 (단위: %)

기술 격차	3년미만	3-5년미만	5-10년미만	10년이상
설계 기술	7	10	23	60
정밀 주조 기술	10	20	50	20
정밀 단조 기술	12	25	25	38
열처리 기술	8	33	42	17
표면처리 기술	25	12	38	25
금형 기술	8	24	40	28
유공압 기술	20	20	33	27
공정자동화 기술	18	27	37	18

주: 기술 격차는 선진국 대비 시간적 격차임.

자료: '90 과학 기술 연감

한편, 先進國의 경우에도 材料費의 上昇, 勞動力 및 熟練의 不足과 公害의 發生이 다른 競合 加工法에 比하여도 큰 면이며, 競合 加工法의 技術 發展이 빠르므로 鍛造業은 어려운 形便에 있다. 이의 打開策으로 作業의 機械化, 自動化, 誘導 加熱의 利用, 冷間 加工化, 放電 加工에 의한 型 製作, 해머의 프레스로의 代替, 密閉型에 의한 無플래시 鍛造 等 合理化 方案이 講究되어 왔으며, 이것이 近年의 鍛造 技術 發展의 主流를 이루어왔다. 다시 말하여 鍛造 技術의 改善 方向을 主導하는 것은 鍛造 作業의 經費 節約에 焦點을 두고 있다. 以下 項目別로 合理化 現狀을 살피기로 하며, 이는 바로 最近의 鍛造 技術 發展 現況을 概觀하는 것이기도 하다.

2.2 鍛造 加工의 合理化 方案

2.2.1 素材費의 節約 方案

素材費의 節約에서 代表的인 改善策으로는

(1) 誘導 加熱의 利用으로 舊式 加熱爐에서의 酸化 損失(2~3%)을 0.5% 정도로 낮출 수 있다. 그러나 이 爐 역시 cost가 높으므로 材料 節約만으로는 收支上 不足하므로 自動化의 輕便性이나 溫度의 一定化 等の 利點이 加勢되어야 할 것이다. 이 밖에 急速 加熱爐도 有望하다.

(2) 密閉型 使用으로 flashless化, draftless化를 꾀하는 것도 한 方法이다. 冷間 鍛造, transfer press 熱間 鍛造 等에서는 flash가 거의 없다. 또 knock-out가 있어서 draft도 거의 不必要하다. flash를 내지 않으려면 素材 體積의 엄밀한 調節, 素材와 型의 溫度의 一定化, 適切한 素材 준비가 前提되어야 한다.

(3) 棒材 剪斷法의 改善: 素材를 마련하는 데 있어 棒材 剪斷法은 速度가 높은 方法이지만 剪斷에 의한 材料의 變形, 斷面의 直角 平面化를 위하여 여러 가지 努力이 이루어져 왔다. 이를 위하여 拘束 剪斷, 軸壓 剪斷 등의 方法도

있다. 그러나 매우 精度를 要하는 경우는 鋳질이 사용된다.

2.2.2 型費의 節約 方案

製品 1個當의 型費를 低減시키기 위하여는 中間 工程을 減少시키는 것, 型의 設計의 試行 回數를 줄이도록 하는 것, 型의 製作費를 줄이는 것, 또 大量 生産品의 경우 型 壽命을 延長시키는 것 등의 對策이 取해져왔다.

(1) 放電 加工의 利用이 近來에 널리 普及되어 copying milling machine에 代替되고 있다.

(2) 複合型化 : 冷間 加工用 金型, 特히 dies는 shrink fit 構造의 複合型이 一般인데 比하여 熱間 鍛造에서는 特히 해머用에서는 上·下型은 各各 一體 構造이었으나, 이것도 차츰 複合型이 進出하여 材料에 接하고 마멸하기 쉬운 部分은 高價 材料를 使用하고 나머지는 低價의 材料를 使用하는 方向으로 나가고 있다.

(3) 型 壽命 延長에는 型材로서 우수한 性質의 것이 開發되어 크게 貢獻하고 있다. 이들은 주로 各種의 高速度鋼이나 tungsten carbide 燒結品이다. 熱間 加工用으로는 nickel base 合金, W-Mo 合金 등이 一部 使用되고 있다. 熱間 鍛造型에 對한 크롬 鍍金, 冷間 鍛造型에 對한 TD 處理法도 條件에 따라서는 有利하다. 한편 潤滑法의 改善도 型 壽命 延長에 重要하며 graphite系 潤滑제가 廣範하게 使用되고 있다.

(4) 型 設計에 對한 CAD 手法 導入 : 鍛造 工程에 塑性 力學을 適用하여 鍛造 工程의 數值 시뮬레이션이 FEM 등을 利用하여 活潑히 遂行되고 있고 一部 좋은 成果를 내고 있다. 앞으로 이런 努力은 계속 傾注되어 갈 것으로 보이며 從來와 같은 거의 經驗에 依存하던 鍛造型 設計나, 粘土나 鉛에 의한 試驗型에 의존하던 try-out 作業이 數值 시뮬레이션으로 代替될 可能性이 높아졌다.

2.2.3 直接 加工費의 節約 方案

加工 工程數를 줄이고, 加工 速度를 높이고, 熟練이 필요 없게 하는 것이 要諦가 된다. 이를 위하여 다음과 같은 方案들이 出現하였다.

(1) 해머의 프레스로의 代替 : 作業이 熟練에 의존하던 時代에는 해머는 값싸고 融通性이 있었으나 機械 프레스의 能率에는 따를 수 없다. 프레스는 해머에 比하여 設備費가 數倍나 높음에도 美國의 경우 1968년부터 1973年 사이에 55%의 型鍛造 工場이 프레스를 增設하여 1工場當의 프레스 臺數는 7.2臺부터 9.3臺로 增加하였으며 그 結果 1工場當 生産 관계 從業員數는 5年間에 168名부터 132名으로 減少한 記錄이 있다.

프레스로의 代替는 이 밖에도 材料의 自動 移送에 의한 tonghold의 不要化, 安全化, 低公害化 등의 큰 利點들이 있다.

(2) 機械化·自動化 : 프레스에 관한 機械化·自動化 外에 從來의 해머에 對하여도 여러 가지 水準의 機械化·自動化가 이루어졌다. 가장 간단한 것은 爐부터 機械, 機械부터 다음 位置까지 材料 移送의 conveyer化이며, 여기에 다시 robot의 使用, 더 나아가면 transfer press나 transfer line의 採用이다. transfer press는 冷間 鍛造에서 많이 普及되어 있으나 熱間 鍛造에서도 차츰 進行되고 있다. 컴퓨터로 管理되는 全自動化 라인도 豫想되고 있다.

(3) quick die change법의 採用 : 多種 少量 生産에서의 型의 交換·調整이 큰 負擔이 된다. 型을 die set로 하여 프레스 밖에서 조정하여 두고 이의 프레스로의 着脫을 신속하게 하도록 한 quick die change法은 從來에 板材 成形에서 주로 使用되었으나 熱間 鍛造에서도 使用되기 시작하였다.

(4) 加工材의 複動化·多軸化 : 보통의 프레스는 한 個의 ram이 1方向으로 前進·後進만을 하므로 製品에 따라서는 이 運動만으로는 成形 不能인 것도 있다. 이에 對하여 ram을 2個 以上 가지고 이것이 別個로, 때로는 서로 다른 角度로 驅動되는 機械가 있어 1 cycle로 複雜한 形狀을 얻는 것에 成功하고 있다. 例컨대 cored forging press나 日本에서 개발된 閉塞 鍛造機가 이에 屬한다. cored forging의 作業을 보다 融通性이 높은 液壓 프레스로 行하는 機械들도 登場하여 鋼製品에도 適用되고 있으며 多ram 鍛造(multiram forging)라고 불리게 되었다.

(5) 半融 鍛造의 開發 : 鍛造는 가장 材料로부터 最終 形狀에 이르는 經路가 짧은 加工法이지만 鍛造品의 여러 가지 缺陷을 補完하기 爲하여 型에 溶湯을 注入하고 液·固相 共存 狀態에서 加壓하는 半融 鍛造가 蘇聯에서 開發되어 製品의 熱處理 後의 機械의 性質은 보통의 鍛造品의 그것보다 오히려 우수하다고 한다.

(6) 鑄造·粉末·押出 素材 등의 利用 : 鑄造 凝固된 素材를 1個의 打擊으로 製品으로 完成하는 方法은 溶湯 鍛造에 다음가는 工程 短縮法이다. 鑄造·鍛造·trimming을 1臺의 機械의 rotary table 上에서 行하는 transfer式 自動 機械도 開發되었다.

다음 粉末 材料로부터 壓密 成形 後 燒結한 것을 素材로 하여 密閉型으로 1 打擊에 의하여 flash가 없는 精密 製品을 熱間 鍛造하는 方法도 登場하였다. 熱間에서도 延性이 낮은 特殊 金屬에 對하여 前부터 行하여졌으나 일반 鋼製品에 對하여도 넓혀져가고 있고, 製品의 機械의 性質도 보통 鍛造品에 가깝게 가고 있다. 여러 가지 長點이 있어 粉末 cost의 低減에 따라 有望한 方法이다.

끝으로 적당한 斷面 形狀으로 押出된 材料를 切斷하여 鍛造 素材로 삼는 일도 部分的으로 行하여진다.

2.2.4 加工 設備費의 節約 方案

drop hammer는 設備와 維持費의 低廉때문에 오늘날도 널리 使用되고 있으나, 보다 生産性을 높이고 良質의 製品을 얻으려면 drop hammer 外의 高價의 加工 設備가 必要하다. 따라서 特히 大型機에 對하여 設備費를 低廉하게 하는 加工法이나 加工機가 여러 가지로 考案되기에 이르렀다.

(1) 溫間 鍛造의 開發 : 冷間 鍛造의 높은 加工 荷重을 1/2 정도로 낮추는 것을 目標로 하고, 그러면서도 製品 精度를 유지하려는 試圖로 出發된 方法이며, 材料를 再結晶 溫度以下로 加熱하여 鍛造하는 方法이다. 現在 graphite系 以上의 적당한 潤滑劑가 確立되어 있지 않아 加熱 溫度의 엄밀한 control이 必要하여 部分的으로밖에 應用되지 않고 있으나, 앞으로 研究가 進行되면 利用 範圍가 넓어질 것이 期待된다.

(2) 等溫 鍛造의 開發 : 이는 型을 素材 溫度와 같은 溫度로 加熱하여 천천히 材料 溫度를 一定하게 유지하면서 鍛造하는 方法이다. 이는 一部 Al 合金에는 前부터 行하여져 왔으나 最近 티타늄 合金이나 耐熱 合金의 使用이 늘어, 이들은 좁은 溫度 범위에서 徐徐히 變形시키지 않으면 깨지므로 等溫 鍛造의 利用 範圍가 넓어지고 있다. 이 方法에서

는 高溫에서 長時間 高壓力에 견디는 型材料가 重要な 問題가 된다.

(3) 部分 鍛造의 應用 : 鍛造品이 大型이 되면 加工 荷重도 커지고 加工 設備도 高價가 되나, 素材 全體를 一時에 加壓하는 것이 아니라 部分的으로 加壓하는 部分 鍛造의 概念을 應用하면 이러한 경우에 매우 有利하다. 大型機를 使用하는 늘리기 作業도 이 方法을 쓰고 있다. 그러나 現在 型鍛造로 만들어지는 정도의 複雜하고 正確한 製品이 部分 鍛造로 만들어지게 되었다. 美國에서는 이 方法을 高度로 發展시킨 (3次元적으로 움직이는 하나의 ram을 使用하여 成形한다.) incremental forging法을 開發하였다.

(4) 回轉 鍛造의 발전 : 壓延과 같이 回轉 運動을 하는 roll 또는 曲面型으로, 때로는 素材까지 回轉시키면서 素材를 部分 鍛造하는 方法을 一括하여 回轉 鍛造라고 부르기로 한다. 이에 屬하는 것으로 roll 鍛造는 예전부터 하던 것이며, 近年에 開發된 것으로는 cross rolling法, helical rolling法, ring rolling法 등이 있고 cross rolling法은 roll의 1回轉으로 加工이 끝나고 cycle time이 매우 짧은 데다 素材의 斷面 減少率을 한번에 85%까지 할 수 있는 등 長點이 많다. 圓形 斷面 製品에 限定되는 制約은 있으나 有望한 方法이다. helical rolling도 原理적으로는 비슷하며 3個의 圓錐形 roll의 間隔을 調整하여 直徑이 다른 段이 지워진 軸을 만든다. ring rolling도 圓環狀 製品을 만드는 데 利用된다. 가장 새로운 것으로는 搖動型 鍛造 (rocking die forging, spin forging)이 있고, 이는 圓錐面을 가진 型이 素材 斷面上을 구르면서 壓縮 成形하는 것으로 die側에 새긴 齒形으로 同時에 齒車를 成形할 수도 있다. 이들 回轉 鍛造로 만들수 있는 製品 形狀에는 制限이 있으나 部分 鍛造와 같이 加工 荷重이 적어지며 振動, 騒音이 해머나 프레스에 비하여 낮으므로 低公害 機械라 할 수 있다.

(5) 高에너지 速度 해머의 開發 : 1960年頃 미국에서 Dynapak라 불리는 ram 速度 10~20 m/s를 가지는 大에너지의 해머가 開發되었었다. ram의 驅動은 高壓 窒素 가스에 의한 것이며, 燃料의 爆發을 利用하는 것도 차례로 開發되었다. 이들의 長點은 利用 가능한 에너지當의 費用이 적고, 機械가 compact하고 加工 時間이 짧은 까닭에 얇은 部分도 冷却되기 前에 成形 가능한 것 等이다. 그러나 衝擊과 높은 變形 抵抗으로 型 壽命이 짧고 騒音이 큰 것이 缺點이다. 따라서 이 加工法에 적합한 것은 大型品, 少量 生産品, 얇은 斷面을 가진 部品, 鍛造 溫度가 높은 耐熱 材料 등의 加工이다.

2.2.5 製品의 高精度, 高表面 加工度

鍛造品의 表面, 치수가 良好하면 後加工의 費用이 절약되어 다른 加工法과의 競爭力이 增大한다. 따라서 鍛造 後의 切削 또는 研削 등의 다듬질 加工을 省略하도록 努力이 傾注되어 왔다.

(1) 冷·溫間 鍛造의 發展 : 鋼의 冷間 鍛造는 1950年頃부터 産業界에서 使用되기 시작하였으며 이 方法으로 重量 30kg, 直徑 150mm 정도까지의 部品이 直徑 치수 精度 0.05~0.3mm 정도로 加工되게 되었고 오늘날 先進 工業國에서는 鋼 鍛造品 中 1/2~1/3 정도를 차지한다. 또한 材料費도 節約되고 冷間 加工 硬化에 의한 熱處理의 節約도 있다. 그러나 높은 加壓力이 必要하므로 工具가 高價가 되고 加工 機械의 容量도 커진다. 素材 材料로서도 冷間에서 充分한 延性を

가지고 不純物이나 表面의 흠이 없는 것이 要求되고 球狀화 아닐링 처리나 磷酸 亞鉛 피복 처리 등의 前處理가 必要하다. 따라서 應用은 주로 小形 部品이고 低炭素, 低合金鋼의 大量 生産品에 限定된다. 冷間 鍛造에서의 치수 精度와 表面 品質을 되도록 유지하면서 加工 荷重을 低下시키려는 것이 既述한 溫間 鍛造이다.

(2) 프레스의 高剛性化 : 型鍛造품의 치수·形狀·精度는 프레스의 剛성과 精度에 左右된다. 非對稱形 鍛造나 多段 鍛造에서는 偏心 荷重도 發生한다. 따라서 鍛造用 프레스는 剛性を 높이는 方向으로 發展되어 왔다.

(3) 其他 : flashless 密閉型의 使用, 誘導 加熱에 의한 스케일 發生 防止, 機械化·自動화에 의한 素材 加熱, 潤滑·加工 作業의 均一化, 作業 中斷 防止, 各種 精密 素材의 使用 等이며 上述한 각 方案들도 모두 鍛造품의 精密化에 一助를 하고 있다. 이리하여 터어빈 블레이드, 齒車 등 그대로 使用 가능한 熱間 鍛造品이 生産되게 되었다.

2.2.6 安全化·無公害化

오늘날 鍛造業界는 騒音, 振動 등의 公害 問題가 새로운 困難事로 대두하고 있다. 해머의 機械 프레스나 液壓 프레스로의 代替는 이들 騒音, 振動을 低減시킬 뿐더러 自動화가 容易하기 때문에 設備을 遮音壁으로 密閉하는 것을 可能하게 하고 作業者의 安全에도 도움이 되고 있다. 回轉 鍛造는 騒音, 振動의 點에서 우수한 性質이 있으나 製品 形狀이 限定되는 것이 흠이다. 鋼의 冷間 鍛造에서 使用되는 磷酸鹽 被膜 潤滑 處理의 廢液도 公害源으로서 問題가 되고 있다. 鍛造의 安全化, 無公害화에 對하여는 이제부터 많은 研究가 必要하다.

3. 鍛造 研究의 現狀

3.1 各國의 研究體制

先進 工業國의 경우 많은 나라들에는 中心的인 鍛造 研究 機關들이 있어, 鍛造研究를 主導하고 있다.

(1) 英國에는 型鍛造 研究組合 (Drop Forging Research Association)의 研究所가 있어서, 新加工法, 型壽命 延長法, 自動화, 騒音 防止法 等を 研究하고 있다. 그 研究의 刺戟으로 大學에서의 鍛造 研究도 活潑한 便이다. 外國 企業도 組合員이 될 수 있다. 버어밍햄 大學의 Petroforge hammer의 開發에는 政府에서 크게 援助를 하기도 하였다.

(2) 西獨의 Hannover 大學의 鍛造 技術 專門 研究所 (Die Forschungsstelle Gesenkschmieden)는 西獨 機械學會 VDI, 生産技術 委員會 ADB 內의 鍛造 分科會와 西獨 鍛造協會가 協力하여 Hannover 工大 內에 設立한 鍛造研究所로 鍛造 分野의 諸 問題를 科學的 研究로 解決한다는 目標下에 設立되었으며 1952년 出發 以來 많은 業績을 내고 있다. Stuttgart 大學의 冷間 鍛造 및 press 機械의 研究도 工作 機械 工業會의 強力한 支援을 받고 있다.

(3) 蘇聯은 모스크바에 TSNIIT Mash 라는 큰 研究所가 있고, 그 속에 鍛造 研究의 큰 部門이 있다. 그 밖에 大學 研究所의 鍛造 研究도 活潑하며 鍛造 專門의 月刊誌도 發行

하고 있다.

이 밖에 歐洲의 型鍛造 技術의 推進에 끼치는 國際 組織 Euroforge의 役割도 크다. 여기서 만든 型鍛造品 치수 公差 規格은 日本등에서도 採用되고 있다.

(4) 美國에서는 鍛造 工業 教育 研究 財團(FIERF)이 여러 大學의 基礎的, 應用的 研究, 調查 프로젝트에 補助金을 내고 있다. 鐵鋼協會도 鍛造 研究의 스폰서 役割을 한다. 이 밖에 陸海空軍 및 NASA에 의한 鍛造의 基礎 研究와 耐熱 金屬의 加工 技術의 開發 研究에 관한 委託 契約이 많은 大學, 民間 研究所, 企業들과 맺어져 왔다. 鍛造 研究所로서 가장 큰 것은 바텔 研究所(Battelle Memorial Institute)의 Columbus 實驗所이며, 2500 ton 液壓 프레스를 비롯하여 많은 設備를 가지고 委託 契約에 의한 研究를 하고 있다.

(5) 中國에서는 1956년에 最初의 鍛壓 技術 會議이 하르빈 工大에서 열렸으며 1963년에 鍛壓學會가 創立되어 第 1 回의 學術 大會가 열렸다. 그 背景이 된 官廳은 第一機械工業部, 機械研究院 所屬의 機電研究所이다. 鍛壓學會의 研究 分野는 2次 塑性加工뿐이며 1次 塑性加工은 金屬學會에 들어있다.

中國 全省과 主要 都市에는 地方의 鍛壓學會가 있어 活動하고 있는 것으로 보아도 中國에서의 鍛造에 關한 研究와 關心은 相當히 活潑하다. 研究 테마도 熱間 鍛造뿐 아니라 回轉 鍛造, 半熱 鍛造, 超塑性 成形, 高에너지 速度 成形 등도 다루고 있으며 冷間 鍛造는 1964년부터 시작되고 있다. 大學으로는 上海交通大學, 清華大學, 하르빈 工業大學 등 著名한 工科大學은 모두 鍛造 研究에 注力하고 있다.

(6) 日本은 日本 塑性加工學會 冷間鍛造分科會가 1969년에 設立된 以來, 研究機關 및 企業의 冷間 鍛造 관계의 主要한 研究者 및 技術者들이 協力하는 體制가 잡혀나가기 되었다. 또한 10余個國의 冷間 鍛造 研究 group으로 構成되는 國際 冷間 鍛造 group인 ICFG가 1968年 設立되어 여기에 參加하여 共同 調査, 情報 研究를 行하고 있다. 한편 熱間 鍛造에 있어서는 뚜렷한 研究 體制를 缺如하고 있는 바, 이는 日本의 熱間 鍛造品의 70~80 %가 소위 下請의 小規模 企業에서 熟練에 의한 해머 作業으로 生産되어 온 데 原因이 있다. 그럼에도 불구하고 日本의 熱間 鍛造 技術은 世界的으로 一級 水準에 있으나 國內에서는 強力한 研究 體制를 要望하는 意見이 대두하고 있다.

3.2 鍛造 理論의 現狀과 動向

鍛造 加工은 鍛鍊 展伸을 主目的으로 하는 自由 鍛造로부터 精密한 形狀 附與을 主目的으로 하는 型鍛造까지 크기, 形狀의 複雜性, 加工 溫度, 材料의 種類와 狀態 등 넓은 範圍의 成形 問題를 對象으로 하고 있다. 따라서 個個의 問題에서 求하려는 情報가 다르며, 또한 다음과 같은 몇가지 要求를 綜合 評價하여 後加工을 包含하는 製品 코스트를 되도록 줄인다는 基本 條件下에 鍛造 加工 프로세스가 決定된다.

- 1) 鍛造 荷重 및 에너지
- 2) 型 壽命
- 3) 材料의 利用率
- 4) 鍛造品 強度 및 性能

- 5) 鍛造品의 精度 및 表面 加工度
- 6) 鍛造品의 生産量 및 納期
- 7) 設備 및 經驗

最適解는 鍛造 會社의 履歷 및 狀況, 設計者의 見解 등에 支配되며 決코 한가지는 아닌것 같다. 鍛造 理論이 어디까지 必要한 精度의 情報를 주고 設計에 利用될 수 있는가가 問題가 된다. 鍛造 問題의 理論的 解析에는 初等解法 (slab法), 上界解法, UBET法, 미끄럼 線場法, 有限要素法 등이 現在 使用되고 있다. 그러나 이들 解析法을 使用한 鍛造 시뮬레이션이 有意義한 結果를 주기 위하여 다음과 같은 條件들에 對한 信賴할 수 있는 情報(data base)가 必要하다.

- 1) 素材 및 型의 變形 抵抗
- 2) 素材 및 型의 破壞 條件
- 3) 摩擦 및 接觸熱 抵抗 등의 接觸 界面條件
- 4) 型의 摩滅 抵抗, 軟化 抵抗
- 5) 素材 및 型의 物理 定數

從來부터 使用되어온 鉛이나 plasticine, wax 등을 使用하는 model 試驗法과 格子線 解析法(visio-plasticity)에 依한 半實驗的 流動解析은 現在까지도 有力한 方法이다. 그러나 計算機의 驚異의인 發展으로 오늘날 計算機 시뮬레이션에 의한 流動 解析 및 應力 解析에 期待가 모아지고 있다. 그러나 實用上의 型 設計에 剛塑性 有限要素法과 같은 解析法이 全的으로 採擇되려면 上述한바와 같은 前提가 解決되어야 한다.

現在 工具 또는 鍛造機 全體의 彈性 變形이나 熱負荷의 狀態를 考慮한 精密 鍛造가 關心의 焦點이 되고 있으며 各 因子의 影響을 考慮한 解析을 行하려면 反復 計算과 解析域의 增大가 必要해진다. 鍛造品 組織의 制御, 型 摩滅의 正確한 豫知, 鍛造 工程 設計의 效率化 등, 어려운 問題들을 안고 있다.

4. 鍛造 技術의 將來

長期的인 展望은 몰라도 가까운 將來에 關하여는 2. 절에서 言及한 鍛造 技術의 現在까지에 이르는 發展 過程을 延長함으로써 어느 程度 展望할 수 있을 것이다. 鍛造業의 出荷先은 先進各國의 경우, 어느나라나 半 以上이 自動車 工業이 차지하고 있다. 따라서 自動車 生産의 伸長과 鍛造業의 伸長은 比例한다는 見解마저 成立된다. 앞으로 當分間 가법고도 強度의 信賴性이 必要한 地上이나 空中의 輸送 機械 部品에 對하여 鍛造品은 獨步의 地位를 차지할 것으로 展望된다. 그러나 그 以外的 部品은 鑄造, 切削, 粉末 燒結, 鉗接品이나 플라스틱 成形品에 侵食 當할 可能性이 있다.

現在の share를 지키기 위하여는 鍛造 技術의 合理化, 型 製作이나 設備의 低廉化, 製品의 精密化, 作業의 安全化와 無公害化를 必할 必要가 있다. 特히 先進國에 比하여 技術 隔差가 큰 우리나라에서 이러한 努力이 特別히 要望된다. 때마침 韓國塑性加工學會와 韓國鍛造工業 協同組合의 發足이 이러한 努力의 觸媒 役割을 감당하기를 期待한다.

參考文獻

1. 日本 塑性加工學會誌, 22卷 241號
2. 日本 塑性加工學會誌, 22卷 242號
3. 日本 塑性加工學會誌, 23卷 253號
4. 日本 塑性加工學會誌, 29卷 324號
5. 日本 塑性加工學會誌, 30卷 343號
6. 塑性 加工의 進歩, 五弓 編著, 코로나社, 1978年
7. "Recent Development in Forging Equipment, Tooling and Processes", Topical Report No.12, Battelle Columbus Laboratories, 1982