

마이크로프로세서의 現況과 展望

安 秀 桔

서울대학교

工科大学 電子工學科 (工博)

I. 沿革

마이크로·프로세서—는 일본사람들의 桌上計算機會社의 要請에 의해서 Intel社의 R. NOYCE 博士가 시초로 개발하였다. 餘他の 電子計算機와는 規模의 크기 등에 있어서의 差異도 있지만 가장 뚜렷한 差異點은 우선 마이크로·프로세서—(μP 라 부름)가 LSI로서 적어도 CPU가 完全히 하나의 IC로 되어 있다는 點이다.

NOYCE博士가 처음 試圖한 것은 1971년이었고 이는 早晚間 4004,4040이라고 하는 4 bit machine의 모습으로 具現되었다.

4 bit μP 는 日本會社들 中에는 아직도 생산하고 活用하고 있는 경우도 있지만 마이크로·프로세서—의 폭발적인 普及은 다시 8008(여기까지는 PMOS) 모델을 지나 드디어 1973年 12월에 8080모델이 나타났을 때부터 일 것이다. 이 모델은 8224(clock generator), 8228(system controller)등과 함께 使用하여야 하고 $\pm 5V + 12V$ 等 3個의 電源을 必要로 하여 어떤 뜻에 있어서는 아직도 集積度가 充分치 못한 段階에서 미리 나온 제품이었다고 지금은 말할 수 있을 것이다.

같은 무렵에 Motorola會社에서 6800모델이 나왔는데 3080과 6800은 전혀 獨自의로 發達하였음이 그 動作原理를 보면 明白한 정도로 너무나도 無關係한 approach였다. 이들은 이미 NMOS를 使用하여 高密度에 高速動作을 하는 第二世代 μP 이다.

한편 PMOS시대에 이미 Rockwell international에서도 PPS-4라는 μP 를, 그리고 Microsystem International Ltd에서도 MC-1이라는 μP 를 생산하고 National Semiconductor에서도 SC/MP라는 8 bit machine以外에 IMP-16이란 16bit machine을 내놓고 있다. 速度가 낮은 PMOS로 製作되었지만 SC/MP는 이미 single chip로서 몹시 廉價로 공급이 되어 電

子計算機의 領域보다는 簡單한 應用에 獨自의인 用途를 찾게되기 始作하여 controller를 中心으로 하는 極小型의 길을 열어 놓았으며, Fairchild의 F8 역시 2chip approach로서 簡單한 家電機器規模에서 많이 活用되게 되었다. 但 F8는 NMOS로서 PMOS보다 高密度이고 高速이다. 이는 CPU가 한 chip을 차지하고 그 밖에 program storage unit (PSU)를 必要로 하는 2 chip approach로서 memory內容 即 顧客의 software가 確定되는 것과는 無關係로 CPU의 量産을 行할 수 있는 長點이 있음이 後日에 들어났다.

μP 는 그 다음부터는 小規模의 controller의 역할로부터 제법 많은 數字計算을 다루는 μP 即 좀 誇張하지만 number cruncher의 役割에 이르기까지 넓은 領域을 차지하게 되어 分化의 길을 걸을 수 밖에 없게 되어 Intel은 小型으로는 8048을 그리고 大型指向으로는 8085를 만들었고 後者를 위해서는 upward compatible하게 命令들을 8080과 같게 하였으나 single chip로서 1K byte의 ROM 그리고 64byte의 RAM을 內藏하고 있는 前者를 爲해서는 小型機를 위한 새로운 命令群을 시작하였다. 이보다도 몇 년만 後였더라면 hardware값 보다는 software의 값이 엄청난 時代가 되기때문에 命令群의 變更은 過去 開發하여 놓은 program들의 拋棄를 뜻하게 되어 損害가 막심하였겠지만 그 時點에 있어서는 機能의 分割에 따른 自然스러운 것으로 말할 수 있었다. Motorola에서는 6802(2 chip approach)와 6805(single chip)를 통하여, 小型機는 6801로 그리고 主力機로서는 6809로 發達하게 되었는데 이 두가지가 모두 다 FORD와 GM 등의 自動車用 microcomputer를 爲한 努力의 열매이며 두會社의 落札을 받았는데 (1980) 시장 크기로 보아서는 GM편만으로도 年間 千萬弗單位로서 microcomputer事業을 맡은 Austin, Texas의 比重을 올려주는 作品들이다. Motorola에서도 6809를

만들었을 때, assembler는 compatible 하나 機械語는 變更할 수 밖에 없었다. 한국에서는 크게 成功을 하지는 못하였으나 MOS Technology의 6502역시 KIM-1 등 single board컴퓨터의 그리고 Apple I, Apple II 등 home computer의 형태로 美國等에서는 큰 成功을 거두었다. 韓國市場에 그다지 큰 力點을 들이고 있어 보이지 않는 또 하나의 大會社로서 Texas Instrument (한국 TI, 延一商社)가 있다. TTL series IC로써 全世界的인 成功을 거둔 TI는 한국에서 亞南株式會社等을 통하여 많은 製品을 加工하고 있지만 比較的 덜 알려져 있다. 그러나 半導體會社로서는 몹시 큰 會社이다. TI에서는 TMS-1000이란 4 bit μP 를 내어놓은 바 있고 그 다음에 TMS-9900라는 16bit μP 를 市販하여 注目할만하였고 최근에는 延一商社 等을 통하여 이미-지 刷新을 꾀하고 있는 듯 하다.

Intel에서 活躍하다가 떠난 ADLER씨를 中心으로 石油財閥 Exxon의 本格的인 뒷바침으로 시작한 Zilog 역시 Z-80을 내어 놓았는데 命令群은 Intel 8080의 경우를 母体로 비슷하나 내장 register個數가 越等히 많은 등, 改善이 있으며 韓國市場에도 德崇商社를 통하여 積極的인 involve 態勢를 밝히고 있다. 그밖에 前述한 바 Rockwell에서도 PPS 8, PPS 8/2 등의 8 bit μP 를 내고 있으며 game machine 등에 넓게 愛用되고 있고 한국에 對한 窓口은 Unistandard이다. Motorola (한국 motorola, 勝電商社)에서는 6809를 사용하여 Exorset를 \$6,000 규모로 내어놓고 있고 Canon (東原洋行)에서도 6809를 쓴 事務機를 \$10,000以内로 팔고 있다.

II. CMOS μP

색다른 努力으로서 CMOS의 大家인 RCA가 내어놓은 1801, 1802도 8 bit CMOS μP 로서 電力消費가 極히 적다는 特色이 있어서 battery backup를 하거나 battery動作을 할 때 長點이 나타난다. Battery backup는 電話關係에서는 停電時에도 電話가 札絶되어서는 안되기 때문에 가장 重要한 要件中の 하나이다. Bell Telephone에서는 1978년에 8 bit CMOS電話用 μP 를 발표하였는데 BELLMAC-8이라는 이름의 이 μP 는 full clock rate로서도(clock rate가 빠를수록 電力消費가 增加) 0.5W밖에 電力을 消耗하지 않고 1980에 발표된 BELLMAC-4는 4 bit μP 로서 4 bit, 8 bit, 12bit, 16bit 命令等을 갖고 있는데 RAM, ROM을 內藏하고 있으며 channel 길이(gate幅)를 2.5- μm 로 再設計한 것은 ga-

te delay가 2乃至 5 NS이어서 代表的 動作周波數가 10-MHz이고 電力은 100milli WATT밖에 消耗하지 않는다. 역시 1980년에 발표된 BELLMAC-32는 32bit μP 로서 100,000個以上の transistor를 收容한 chip 이며 32MHz의 clock rate로서 動作하고 32bit의 data bus와 63個의 I/O channel을 收容하고 있으며 32bit 加算을 60nanosecond에 한다. 이와같이 channel의 길이가 2.5 μm 段階가 되면 CMOS technology는 ECL을 포함한 TTL bipolar technology에 速度面에서도 비슷하게 된다.

1973년에 IMP-16을 내어놓은 바 있는 National Semiconductors (한국 NS 목정동, 東白物産)는 周辺 chip 들을 吸收해가면서 16 및 8 bit 命令을 遂行할 수 있는 Pace라는 40pin 16bit μP 를 發表하였는데 이는 IMP-16의 命令을 그대로 保存하고 8 bit μP 에 比하면 throughput가 더 크다. NS에서는 COP라는 controller도 내고 있다.

本格的인 16bit μP 를 向한 rush를 取扱하기 前에 μP 및 기타 programmable device의 必然性을 살펴보기로 한다.

III. Silicon VLSI Technology가 가져온 새 樣相

能動素자가 電子工學에 導入된 다음부터 여러가지 機能의 수 많은 回路들이 考案되었고 거기에 다시 貢獻回路의 導入된 다음부터 모든 回路와 시스템의 stability가 畫期的으로 달라져서 願하는 程度의 安定性을 가진 機能을 언제나 期待할 수 있게 되었다. 이와 같이 하여 우리는 한 回路가 材料의 parameter나 條件의 變動에 不拘하고 같은 性能을 再現할 수 있게 되었고 따라서 製品마다의 調整을 할 必要도 없어지고 한번 맞추어 놓은 狀態에서 離脫하는 일도 적게 되었던 것이다. 事實上 우리가 한 機器를 具現하여 그의 實用性을 認定 받기 爲해서는 信賴度가 높아야 한다. 언제나 똑 같은 性能을 期待할 수가 없다면 그것은 하나의 gadget에 不過하다. 電子工學發達의 初期에는 너무나 弱한 部品들이 많아서 MTBF가 짧았고 따라서 動作時間에 比해서 故障修理에 消費되는 時間이 많았다. 우리는 이러한 難點을 迂回하기 爲해서 그와 같이 弱한 部品를 爲해서는 代替의 容易를 위해서 socket를 活用하였다. 故障이 잦은 素子を 直接機器에 連結하지 않고 socket를 두어 故障個所의 發見 그리고 部品代替를 容易하게 하였던 것이다. 그리고 또 한편 connectors를 活用하여 한 機器

의 限定된 機能을 여러 機器들의 connectors를 통하여 큰 시스템으로 키워 가는 데 이 connector도 機器의 信賴度가 限定된 데에서 使用되었다고 말할 수 있다. 한 시스템의 規模가 크면 MTBF가 너무 짧아져서 제대로의 動作을 하지 못하고 connector를 통하여 여러 機器가 서로 結線되어 있을 때에는 故障이 나도 即刻 該當 機器를 바꿔서 시스템의 機能을 回復시킬 수 있다는 點에 있어서 既述한 바 socket의 役割을 하고 있다고 말할 수 있다.

한 機器의 規模는 그 안에 收容된 素子들의 信賴度의 支配를 받을 것은 自明하다. 素子들의 MTBF가 작을 수록 穩全한 動作을 하여주는 시간이 짧고 이러한 機器가 많이 모여 시스템을 이루고 그 規模가 클 수록 제대로 動作하는 시간이 짧아지기 때문에 어느 程度 이상의 規模의 시스템이란 항상 어느 한 구석에서 故障이 나서 事實上 쓸 수 없는 施設이 되어 버리고 말기 때문이다.

그러나 한편 socket나 connector 등의 연결기구는 soldering과 함께 이들 自体가 故障의 原因이 되어 왔던 것이다. IC technology의 發達에 따라 收容回路 規模가 커지면서 이러한 連結手段들은 알미늄 蒸着層과 같은 IC內的 結線層으로 둔갑하여 信賴度가 增加한 것이다. 初期의 信賴度가 낮은 素子들로서는 작은 規模내에 많은 回路를 넣을 수 있다해도 잦은 故障을 생각하면 事實上 쓸모가 없는 것이나 集積回路의 發達에 따라 한 IC內에서 能動素子間에 結線이 均質하여 一但 最終檢査까지 살아남은 IC는 信賴度 높은 結線이 끝나있는 셈이고, 集積規模가 크다는 事實은 回路 全體의 크기에 對한 (外部와의) interface 回路의 比가 작아지기 때문에 破壞의 大信號을 만나는 일이 없는 純粹한 内部回路 比率이 커서 더욱 安全하다. 이 内部 結線層에 依한 結線은 處理技術의 발달에 따라 더욱 더 信賴度를 높여 주었고 端子의 數가 (chip의 크기가 작다는 事實 등으로 인해서) 40內至 62로 限定됨에 따라 前述한 바 内部回路 對 interface 回路의 比는 集積度의 증가에 따라서 커져가서 信賴度가 극히 높다. 다시 말해서 처음부터 設計가 잘못 되어 있지만 않다면, 使用條件만 조심하면 socket, connector 및 soldering을 하는 時代에 比해서 信賴度가 극히 높다는 말이 되어서 즉 使用方法만 옳다면 거의 故障이 안 난다는 段階에 와 있는 것이다. 이와 같이 信賴度가 改善되고 高密度集積技術이 발달됨에 따라 새로운 樣相과 問題가 생기는데 그것은 한 IC의 回路內藏 規模가 커짐에 따라 그 IC의 用途가 도리어 限定된다

는 사실이다. 基礎되는 機能 bloc (回路)이 많이 收容되지만 그들간의 結線이 特定한 것이 됨에 따라서 바로 그러한 結線이 요구되는 用途는 限定되기 때문이다. 比論을 하자면 洋服業者가 하나의 바지를 만들었을 때 그 바지에 맞을 사람이 많아서 사줄 손님이 많지만 上衣까지 팔리면 그 한벌에 꼭 맞을 손님으로 限定되어서 오히려 顧客의 範圍가 줄어들어 든다는 것에 비할 수 있다. 出發點에 있어서 여러 가지 用途에 使用될 수 있는 多能한 機器들도 이들이 모여서 一定한 連結이 이루어진 다음에는 꼭 그러한 組合, 그러한 結線이 要求되는 경우로 限定되어 있기 때문에 그 素子 (IC)의 需要는 줄어들게 된다. 다시 말해 集積規模가 커서 오히려 市場性이 惡化하게 된다. 製品의 使用處가 줄어들고 活用可能性이 줄어들기 때문에 더 많은 種目이 필요하게 되고 또다시 配當이 줄어들게 된다. 原子로서는 90余個면 全體物質이 커버 - 되지만 分子로 하면 한없이 많은 종류가 必要하게 된다는 것과 비슷하다.

한 chip속에 많은 回路를 收容하게 되면 따라서 다음에는 두 가지 方向으로 分化하게 되는데 하나는 custom made 지향으로 顧客과의 緊密한 關係를 통하여 한 顧客이 必要한, 바로 그러한 結線의 製品을 만들어주는 方向이고 (또는 IC 製品過程에서 能動素子層까지는 array 構造로서 大量的으로 만들고 나서 마지막 結線用 金屬蒸着層을 顧客의 注文에 따라서 하는 uncommitted array 또는 programmable logic array即 PLA의 approach도 있음) 또는 하나는 한 IC의 수많은 內藏機能 bloc (回路)들間 연결이 外部의인 手段에 따라서 願하는 機能을 위한 것으로 바뀌게 하는 方向이다. 이 후자가 μP 등 programmable device로 具現된다. 多目的으로 兼用할 수 있는 電氣機器란 지금까지는 動員할 수 있는 回路 (即 機能 bloc)의 入力 出力 端子를 access할 수 있게 하고 그들간의 連結을 願하는 機能이 나타나게 實線으로 이뤄주며, 機能變更이 必要하면 이에 따라서 實線의 連結方法을 달리하여 目的을 達成하였던 것인데 지금은 multiplexer에 依해서 (digital의 경우는 더 簡單하게 gate 回路에 依해서) 電氣의 信號를 가지고 結線의 變更을 하지 않고서도 이룰 수 있게 되었으니가 손쉽게 그리고 高速으로 機能의 switching (切換)을 행할 수가 있게 된 것이다. 나아가서는 入出力 端子를 内部에 그대로 두어도 外部로부터 전기신호를 보내어 願하는 機能으로 再編成을 시킬 수가 있는 것이다. 이것이 바로 microprocessor 또는 programmable component가 擇하고 있는 方

向이고 이때 電氣信號를 内部에 導入하는 線群이 data bus이며, 그 信號가 바로 instruction에 適當된다. 8個線으로 構成된 bus는 multiplexing하여 사용하지 않는 限 2⁸ 즉 256種 以上の 機能을 收容, 또는 區別 活用할 수가 없다. 즉 8 bit instruction μP 에서는 256個 以上の 命令群이 될 수가 없다. 여기에서도 16bit나 32bit μP 가 有利함이 나타난다.

Programmable하다는 것을 가지고 μP 의 重要한 特徵을 삼는다면 microcomputer 즉 μC 規模에서 並用하는 IC中에서 programmable component는 μP 뿐만은 아니다. 일반적으로 外部와의 interface를 담당하는 universal interface는 大部分이 programmable하다.

IV. Single Board Computer와 小規模 μC

μC 의 단제에 와서 가장 低廉하고 따라서 活用할 機會가 많은 것이 single board computer이다. Computer Automation Inc.에서는 비록 μP 는 아니었으나 TTL을 使用하여 Naked Mini(LSI 3/05)를 400달러—이하의 값으로 市場에 내놓았고 PDP Series로 有名한 minicomputer의 先驅者 Digital Equipment 會社에서는 Western Digital Corp(裕元企業)에 委託하여 LSI-11를 製作하였는데(1975년) 이는 PDP-11의 命令群을 使用할 수 있는 機械로서 \$600程度의 價格이었고 이보다도 먼저의 成功機種인 PDP-8과 똑같은 命令群을 쓰는 μP 로서는 12bit로서 Intersil 會社에서 製作한 40pin의 IM 6100이 있다. 이는 CMOS로서 製作되었고, 이미 普及되어 있는 PDP-8의 命令群을 使用한 것은 좋은 着眼이었다.

最近에 Digital Equipment社에서는 PDP-11/34와 같은 中堅機 水準의 μP 를 LSI-11/23라는 이름으로 發表하였다. 마저 minicomputer의 命令群을 쓴 다른 경우를 살펴보면 NOVA로서 유명한 Data General 會社의 Micro Nova의 경우로서 Fairchild는 (Fairchild판매:여의도) Nova 1200의 命令群을 使用하는 9440이라는 μP 를 發表하였다. 이는 integrated injection logic과 isoplanar process를 적용하였다.

Single board는 주로 OEM用으로 많이 사용되었는데 이는 小型廉價의 μC 와 함께 商業的인 成功을 거두기 시작하였다. 우선 Intel(KORAM)에서는 SBC 80/10이 나왔고 역시 8080을 채택한 IMSAI 8080과 ALT AIR 8080은 한국에까지 그 모습을 보였다.

시초의 Personal Computer가 약속된 \$600 보다도 廉價로 선을 보였는데 이는 COMMODORE(延一商事)

의 PET이다. 이는 유럽의 성공이 컸고 지금 역시 歷史가 긴 만큼 더 많은 program library와 周辺裝置를 자랑하고 있다. 미국에서의 성공은 역시 Radio Shack이라는 큰 판매망을 갖고 있는 TANDY(韓國 馬山에도 TC電기라고 하는 공장을 가졌음.) 會社의 Z80 채택의 TRS80과 6502를 채택한 APPLE 1, APPLE 11(한국 소프트웨어) 그리고 Z-80을 채택한 CROMENCO(고려 시스템)이다. 그 밖에 6800을 채택한 Southwest Technical Product 會社의 SWTPC 6800은 賣上이 1975년에 이미 4,000,000달러—를 초과하고 있다. Rockwell은 Printer까지 달린 AIM65 single board computer를 \$400에 市販하고 있다. 一般的으로 program language로서는 Pascal이 제일 人氣가 높다.

V. 技術의 現況

μP 의 趨勢가 16bit machine으로 갈 것은 처음부터 自明하였다. Bit數가 적으면 最大로 收容할 수 있는 命令의 種類가 너무 限定된다는 것은 이미 指摘한 바 있으나 그밖의 理由도 있다. 그 中の 하나만 說明한다면 다음과 같다. Memory에서 命令을 가져 올려면(fetch) opcode에 그 address를 追加하여야 하므로 命令이 必然적으로 길어진다. Intel의 MCS80(8080 收容)이나 MCS 85(8085收容)에서는 이 경우 3 byte長 命令이 되는데 그때 全容量인 65K의 어느구석에서나 命令을 가져올 수는 있지만 fetch時間이 三倍 延長되고 命令의 길이도 길어져 memory를 浪費하게 된다. 6800에서는 address로 역시 2 bytes를 追加하는 方法以外에 한 byte만을 追加하여 全生命令길이를 2 byte로 사용하는 방법(direct addressing)도 있다. 물론 커버할 수 있는 범위는 낮은(0000H에 가까운) 256個 address(direct page)로 하지만 限定되기는 scratch pad式으로 쓰려면 命令의 길이가 짧은 것이 有利하다. Intel에서는 오히려 이와 같은 뜻에 있어서 CPU内部에 餘裕分 register를 3個쯤(c, d, e register) 더 넣어서 register들間 data移動 명령의 길이를 1 byte로 줄였다. 이것은 몹시 有利하지만 CPU內的 register의 個數를 그 以上 增加시키지 못한 必然的인 理由가 있다. 그것은 data의 移動을 爲해서 source와 destination의 指定用 bit數가 합하여 6 bit가 되는 것이 限界라는 것이다. Source와 destination을 나타내는 bit수가 같은 것이므로 6 bit를 넘게 되면 8 bit 全體를 찾아 하게 된다. 따라서 다른 機能을 넣을 수가 없게 된다.

6 bit로 限定하였을 때 收容可能 register의 수는

source 및 destination이 각각 $8(2^3 = 8)$ 個로서 각각의 register番號는 窩에서 出發하여 binary 순서로 B, C, D, E, H, L, 이고 111이 A register로서 이밖에(memory에 가서 fetch하여야 함을 나타내는) 110을 포함하면 전부를 차지하게 된다. CPU内部에 register를 많이 收容하는 限界로서도 命令의 bit數를 增加시킬 필요가 있는 것이다. 그밖에도 2 byte命令을 한꺼번에 fetch할 수도 있고 address의 指定可能範圍를 復雜한 技巧 없이 65K 범위 이상으로 넓힐 수 있다.

NS의 IMP-16과는 16bit이고 특히 PACE는 micro-programmable하고 8 bit와 16bit動作을 選擇할 수 있어서 刮目할만한 μP 이지만 眞正한 16bit μP 競爭은 Intel이 8086 따라서 MCS-86을 發表하면서부터이다. 이는 20,000個의 transistor를 收容하는 大規模 集의 回路로서 135가지의 命令을 갖고 있다. 이 命令中에는 macro에 該當되는 復雜한 일을 實行하는 命令들이 있어서 實行(exccution)時間도 빨라지고 프로그램도 쉬워지고 또한 짧아지기도 하였다. Zilog에서도 같은 1978년에 Z8000을 발표하였는데 이는 8M의 address space를 가졌고 memory management unit(Z8010)를 並用하여 여러가지 memory management이외에 protection機能이 있어서 다른 使用者에게 data를 읽힐 걱정도 없어졌다. Operating code의 數도 418個를 헤아리게 되었다. 意圖的인 것은 아니지만 PDP-11에 많이 가깝다는 評이다. 지금은 winchester disk裝置를 收容한 Z-LAB-8000이라는 minicomputer級을 몹시 廉價로(\$30,000정도) 供給하는데 minicomputer를 爲한 最高의 OS의 評을 받고 있는 bell laboratory開發의 unix의 機能을 거의 吸收한 ZEUS(OS)를 사용하여 multi-user는 勿論 Z8000個의 英語單語의 spelling도 고쳐주는 기능도 있고 自体의 使用 manual도 적어 내어 준다.

UNIX의 채택은 8086이나 68000(Fortune 32:16)에서도 하고 있다.

市販되는 中 評이 좋은 16bit μP 中에 68,000개의 transistor기능을 수용한 Motorola 68000가 있다.

8 MHz의 clock speed를 자랑하는 이 μP 는 内部에서는 電力節約을 爲해서 速度에 支障없는 곳에서는 더 느린 clock도 사용하고 μP 에서는 드문 pipeline構造도 採擇하고 있다. 그리고 Z-8000과 함께 内部의 data의 길이를 32bit로 하여 演算과 data移動, 運算이 빠르다.

Intel의 8088도 外部에 나타나기는 8 bit μP 이나 内部構造는 16bit이다. 그 밖에 8087라는 Coprocessor를 活用하면 floating point arithmetic를 포함하여 實行에 時間이 걸리는 命令들을(J. B. PEATMAN이 말하는

바) sequential한 처리보다는 combinational하게 한꺼번에 處理하여서(IC內에 많은 回路를 收容할 수 있다는 長點을 活用하여) 時間을 節約하게 해 줄 수 있다.

또한 이는 64bit의 internal data bus, 68 bit ALU, 80bit register stack 등을 갖고 있어서 計算의 精密度를 월등히 높여 주며 throughput를 顯著히 增加시킨다.

現在로는 8086-1의 clock rate가 10MHz라는 高速이면서 clock速度의 增加보다는 throughput의 增加에 主力을 集中하고 있다. 그 밖에 iAPX432이라는(3chip) 32bit mainframe을 발표하였는데 이는 주로 본격적인 電算機製作會社를 상대로 하는 製品으로서 μP 範圍에 넣기가 어렵다. iAPX 432는 hardware를 充足하게 사용하여 OS의 짐을 덜어 주고 있다. 이는 주로 본격적인 computer회사를 爲해서 製作된 것으로 弘報도 一般民에게 보다는 그러한 系統에 主力을 두고 있다.

32bit를 爲해서는 program language로서 美國國防省이 開發시킨 ADA를 도입하고 industry standard가 될 것을 기대하고 있다.

Intel은 이미 8bit의 경우를 위해서는 PL/M이라는 language를 작성하여 活用하고 있다.

前述한 BELLMAC-32는 Bell lab이 만든 CMOS μP 로서 channel length가 $3.5\mu m$ 단계이다. 將次 channel의 길이가 $2.5\mu m$ 가 될 豫定이며 그때에는 clock rate가 32 MHz가 될 이 μP 는 秒當 2,000,000의 命令을 實行하게 되는데 그 速度는 따라서 VAX 11/780, IBM 370/158等 本格的인 電算機의 速度를 超過한 것이다. OS로서 既述한 바 UNIX를 사용한다.

集積度の 챔피언은 Hewlett Packard로서 이 會社는 美國 國防省이 提示한 VHSIC(후에 說明) 計劃에 呼應하여 만든 depletion mode NMOS 32bit μP 로서 $1.5\mu m$ 幅의 선을 $1\mu m$ 間隔으로 $\pm 0.25 - \mu m$ 의 許容誤差로 만들기 爲해서 電子비-口포를 사용하였는데 500,000程度의 transistor가 集積되었다. 連結用 金屬層은 migration을 막기 위해서 tungsten을 採擇한 二重層으로서 前述한 바 連結線의 幅은 内部層의 경우이고 上層의 경우 電源供給用 結線等은 $5\mu m$ 에 이르는 경우도 있다. 二重層 結線 德分으로 結線길이 짧아져서 高速化에 有利하다. Channel의 길이는 $0.9\mu m$ 程度로서 처음 到達한 값이다. Functional throughput rate(gate密度×速度)는 6×10^8 GATE-Hz/cm²로서 美國 國防省이 提示한 VHSIC(very high speed integrated circuit) 計劃에서의 示方보다도 높다.

VI. 最近의 動向

1981년에 들어서서는 既存 μP 가 많이 補強되었다.

TI에서는 4bit製品 直後에 곧바로 16bit μP 인 TMS 9900 Series를 市場에 供給하였는데 廉價이고 많은 特徵이 있는데도 不拘하고 苦戰하고 있다가 8bit μP TMS 9985를 발표하였고 TMS 9900이라는 16bit μP 는 24MHz의 clock rate이고 152개의 microcode 로서 decoding이 몹시 빠른 長點이 있다. Motorola의 MC 68000L 12는 MC 68000과 같으나 clock rate가 12.5 MHz이다. Z8000도 10MHz의 新製品이 두가지(Z 8001, Z8002) 나왔으며 Intel에서는 iAPX 286이 나와 data의 보호도 되고 virtual memory address도 1 giga bytes 까지 可能하게 되었다. NS에서도 NS16000 series 가 발달하여 NS 16032와 NS 16016이 나왔는데 역시 内部는 두개 다 32 bit構造이다. Fairchild에서는 9440을 改良하여 16 × 16bit 構성이 2.9 μ S로 되는 그리고 multi-processing이 되는 F9445를 市場에 導入하였다.

Single chip의 Controller水準으로서 Intel에서는 8048의 1K byte의 ROM크기가 모자라는 감이 있어 8049를 내놓았는데 이는 ROM이 2K bytes이다. 8051는 속도도 12MHz급이고 32개의 I/O port를 가졌으며 serial port도 달린 代表作이며 그밖에 規模가 작은 8020, 8021 등이 있고 A-D變換器가 달린 8022도 analogue信號에 適用하기가 쉬어졌다.

内部에서는 8 bit의 digital信號로써 處理되지만 A-D 및 D-A變換器를 內藏하여 analogue 信號處理器로 活用될 수 있는 2920 processor가 나오고 있다.

小型 Controller目的으로 Motorola에서는 on-chip 2K byte ROM의 6801 single chip processor를 내놓았는데 35,000개의 素子를 收容하고 역시 serial 및 parallel I/O port와 timer를 가졌다. 그리고 本格的인 controller로서는 6805 series가 있어서 機能이 多樣하다. MC 6805 T 2는 PLL回路가 달려있고 MC68705 R 3는 3.8K size의 EPROM이 收容되어 있으며 A-D變換器가 달려 있고 그밖에 6805P 2, U 2, R 2, P 3, P 4 및 CMOS판은 MC146805E 2, G 2, F 2 이 있으며 電力消耗가 15mW로부터 35mW정도이다. NS의 COP도 CMOS化 되었다. (COP 420C, COP 421C, COP 320C, COP 321C) 이들은 4bit μP 로서 5V에서 4mW 程度의 電力消耗이다.

高密度 그리고 switching energy와 delay time의 감소를 위해서 GaAs의 使用이 연구되고 있다. Propagation delay로서는 136 picosecond가 報告되고 있다. (Rockwell)

더욱 使用目的을 한정하여 製作한 製品들도 많은데 一例를 들면 Western Digital에서는 packet network interface(WD2501/11)를 中心으로 하여 WDK 2500 I-XC라는 製品을 내어 놓았는데 이로서 CCITT 권장 X.25가 손쉽게 具現될 수 있다.

Motorola에서는 modem도 16pin DIL으로 (MC 14412) 市販하고 있다.

VI. Language의 問題

Intel에서 8bit μP 를 爲해서 開發된 PL/M은 꾸준한 普及를 보이고 있어서 來年까지는 100,000名程度의 人口가 使用할 것으로 推算되고 있다. 이는 ADA language가 32bit μP 를 爲해서 만들어진 것과 같이 8bit μP 를 爲해서 開發된 것으로서 HLL (High level language)에 가깝다고 말할 수 있다. Assembler 言語에 比하면 몹시 便利하여 역시 한 language가 普及되기 爲해서는 時間이 걸리는데 그러한 뜻에 있어서도 無視 못할 language이다. 그러나 한편 IC의 集積度가 커짐에 따라 PLA의 技法을 活用하여 상당히 複雜한 일을 하여줄 수 있는 命을 만들어 넣고 한꺼번에 實行하여 주게 되었기 때문에 앞으로의 強力한 instruction 들에 기대해 볼 만도 하겠다.

한편 IBM에서 가장 完璧한 language를 標榜하여 發表한 바 있는 PL/1은 대단히 廣範圍한 用途를 모두 다 考慮하고 있기 때문에 400k bytes가 (IBM 370)라는 老대한 容量을 要求하는 compiler가 되어 μP 에서 使用하는 것은 생각할 여지도 없었던 것이다. 그러나 American National Standards Institute의 X3 J1-PL/1委員會는 PL/1를 縮少하여(subset G라고 부르게 될) 簡略型을 만들었고 이것은 ANSI standard로 制定되었다. 여러 會社에서 이러한 精神으로 小形化한 compiler들이 나왔는데 그중의 하나인 (8080, Z80, 8085에 使用할 수 있는) PL/1-80은 38K bytes으로 足하다.

Data General會社에서도 Eclipse series를 위해서 subset G급의 compiler를 作成하였는데 이것은 16bit 짜리 32K word의 크기이다.

이들은 물론 PL/1과 upward compatible하고 可變長의 string을 다룰 수 있어서 pascal보다도 유리하고 business language로서 cobol보다 有利한 것으로 되어 있다.

한편 Pascal의 경우도 Niklaus WIRTH가 1966에 동료 HOARE 와 하던 일을 함께 1971년에 完成한 것이나 그다음에 WIRTH, HOARD 그리고 E. Dijkstra 등의 아이디어

에 따라 Per Brinch HANSEN이 在來式의 sequential Pascal 이 아니고 500 bytes 程度의 Kernel(OS) 을 갖고 있어서 이것이 여러 concurrent process를 multiplex하고 그中 하나하나가 monitor에 access하는 것을 許容하고 interrupt를 real time으로 (在來式으로 하나의 task가 다 끝날때까지 기다리지 않고) recognize 하고 vectoring하여주는 役割을 하지는 micro concurrent Pascal을 발표하였고 Niklaus WIRTH 본인은 지난 第五次 international conference on software engineering에서 Modula - 2 라는 language와 P-code 를 직접 實行할 수 있는 microprogram이 되어있는 (2901 processor母體의) lilitth 라는 이름의 μ C를 발표하였다. 이 Modula - 2는 sequential PASCAL 機能에 multitasking, separate compilation, independent modules 機能이 追加된 것이다.

Western Digital에서는 Microengine이라는 WD9000 chip set (5 chips) 16bit Pascal μ P를 生産하고 있는데 μ P構造가 처음부터 Pascal具現에 가장 알맞다고 하는 P-code를 最短時間에 實行할 수 있게 만들어 놓은 것이기 때문에 다른 structure를 갖고있는 μ P보다 Pascal에 對해서는 3乃至 5倍 빠르다.

VII. 將來의 展望

32bit μ P를 향한 競爭이 繼續되고 있다. TI 에서는 TMS 99000, Zilog에서는 Z-80000等 이름도 붙혀 놓고 있다.* 많은 CPU가 PLA에 依해서 웬만한 HLL를 직접 decode함으로써 速度를 높이고 있다. Minicomputer 會社와 그밖에 많은 電算機會社에서 CPU를 IC化 하고 있다. Digital Equipment 會社에서는 直接 LSI-11 series를 生産하여 Hamilton Avnet 會社와 같은 販賣會社를 通하여 普及을 하고 있고 Data General 會社에서는 상당수의 CPU가 IC化되어 그中에는 eclipse C 350 相當의 것도 있으며 그 밖에 많은 大形電算機會社들이 μ P分野까지 事業範圍를 擴大하고 있는 지금 時點에서 그리고 programmable device가 여러가지 controller 의 이름을 붙이고 電子工學應用 全般에 波及되어 가고 있는 現時點에서 μ P의 將來의 展望을 말하기란 너무 廣範圍하다.

全世界의 供給이 不足하게 될 것으로 전망되고 있는데도 한편에서는 silicon 單結晶 代身 polysilicon으로 substrate를 使用하겠다는 研究도 行하여지고 있고, amorphous transistor의 研究도 行하여지고 있다. 現時點에 있어서 programmable compo-

nent의 技法이란 電子工學의 구석구석까지 波及하여서 μ P에 限界線을 긋는다는 것은 다분히 人爲의인 것이다. 뚜렷한 것은 μ P를 汎用 device로서 (使用方法을 우리의 窮理에 따라서 그때그때 바뀌어가는 것이라고) 생각한다면 在來式의 semiconductor device나 電子機器는 定目的機器라고 말할 수 있는 것으로서 定目的機器는 사용하기가 오히려 마음편한 것이기 때문에 너무 高價한 것이 아니라면 그대로의 市場을 발견할 수 있을 것이라는 點을 指摘할 수 있다.

1978年 무렵부터 市場導入이 發表되었던 64K RAM (dynamic)은 2.5乃至 3 μ m의 channel幅이 要求되어서 mask를 加工表面에 密着도 못시키고 positive resist를 써야하고 그러한 size에서는 "1" state를 나타내는 電荷의 크기가 電_f 100,000個 程度밖에 안되기 때문에 ceramic package로부터의 α 粒子에 依해서 攪亂되는 수가 지 있게 되었다. 結局 64K RAM은 상당히 時期가 늦어서 1981年에 供給되기 始作하였는데 年末까지 아무 일 없이 供給을 繼續하고 있는 會社는 처음의 8業체로부터 4業체로 줄어서 역시 그 段階에서 어떠한 壁이 있음을 말하여 주고 있지만 이러한 VLSI技術은 實 記憶裝置의 出現으로 이끌어 大形電算機 領域에까지 적용되고 있다. IOWA에 있는 Fairfield라는 會社에서는 40,000字의 漢字를 收容하는 文字發生器를 64K bytes로 具現할 수 있음을 보였다. 東洋圈에서 漢字의 code가 統一되지만 하면 漢字를 包含하는 word processor에 革命이 일어날 것이다.

汎用 (또는 多目的, 또는 可流用的) 機器인 μ P등은 제품의 物량이 많기 때문에 廉價로 供給되는 利點이 있지만 窮理 (software)를 하여 program을 作成하여야 하는 번거로움이 있고 이 software開發費가 지금은 오히려 무척 비싸게 땀기 때문에 앞으로는 programmable device는 物량이 充分하여 開發費가 妥當化될 때에는 이미 ROM (hardened software)의 형태이거나 program library를 大量的으로 供給하는 形態가 主가 되고 物량이 작을 때에만 아직 加工 可能한 形態로 될 것이다. 머리가 좋고 忍耐力이 있는 사람은 趣味가 있거나, 또는 生計의 길이 그것 밖에는 없거나 할 때 집에 앉아서도 software作成으로 밥벌이를 할 수 있을 것이고, 使用하여야 할 機能은 IC의 形態로 이미 싸게 나와있기 때문에 大部分의 技術者들은 IC 生産會社에서 만든 device들의 使用方法을 說明받는데 많은 시간을 消費하게 될 것이고 生産量의 單位가 큰 會社의 技術者들은 PLA製作會社의 受注技術者와 많은 時間을 함께 지내게 될 것이다.

國際적인 分業이 두드러지고 (다시 말하여 다른 나라 會社 때문에 亡하는 會社가 많아지고) 會社의 merging 이 繼續되어서 없어지는 會社가 아직도 續出할 것이다. 弱小國의 立場은 여전히 有利할 것이 없다.

Memory市場에서 堅實한 伸張을 보이던 日本의 半導 體業界는 高密度 集積 μP 에서도 政府의 獎勵金을 받고 scaling down方法으로 channel 길이를 縮少하는데 美國에 앞선 감이 있다. 信賴度 問題는 昨年水準에서 AOQ (average outgoing quality)가 忽微히 줄어서 1,000,000 個. 時에 Motorola가 840件 (6800과 같은 가장 複雜한 素子까지 包含) NS가 500件, TI가 約 1000 程度, Irvine California에 있는 Toshiba가 250의 水準이다.

관찰하기가 쉽지 않지만 이런 경우에 놀람게도 競爭의 승패를 판가름 하는 要素로서 各國의 過去歷史와 그것이 現時點에 남겨주는 國民性이나 全世界의 地方마다의 氣質들이 있음이 나타날 것이다. 誠實性이나 discipline의 有無가 問題가 될 것이며 忘却되어가는 pride가 再評價될 것이다. 全世界를 相對하는 立場에서 觀念의 人 體質에 남아 있을 것이 아니라 現實의 人 感覺을 되찾아야 할 것이다.

美國防省에서는 1979年 10月 1日에 始作하는 會計年度에 Very-High-Speed-Intergate Circuit 라는 計劃을 發表하였는데 6年間 \$200,000,000를 計定한 이 計劃은 1986년에 끝날 豫定으로 *武器照準, radar 裝置 video 影像, 廣對域 data communication, 그리고 electronic warfare 등의 速度를 그 當時보다 100倍분 올리자는 것으로 一례를 들자면 마지막의 electronic warfare를 爲해서 25내지 100,000,000instruction을 처리하는 짧은 一秒에 그의 100倍인 1,000,000,000乃至 10,000,000,000를 처리하게 하겠다는 計劃으로서 그 豫算中 20乃至 25%는 즉 \$40,000,000~\$50,000,000은 IC를 爲한 X-RAY Lithography開發에 투여되어서 대망의 1 μm 幅을 突破하게 할 것으로 보인다.

TI, Motorola, Signetics, NS, Fairchild, TRW, IBM等 많은 會社가 참여하였는데 phase 0 (一次年度)에 가장 많은 活動에 參與하고 獎勵金을 받은 것이 IBM (19部門, \$1,020,000), TRW (19部門, \$1,360,000)等 9個 會社이고 最高額은 Rockwell의 \$1,570,000이었다. 次點으로서는 Hughes Aircraft의 \$1,520,000이다.

Pentagon은 해마다의 무리없는 目標을 設定하여 監督하는데 1980에 \$30,400,000이 執行되었다. Rockwell 會社는 CAD가 강력하여 SOS (Silicon On Sapphire) 技術을 CMOS에 適合시키는 方法等に 注力하였는데 이곳에서 다시 強調하고 싶은 것은 이러한 具體的인 必要性에 立却한 豫算의 投入은 stick and carrot의 役割을 技術界나 科學界에 對해서 하고 있어서 이것이 두고 두고 美國 産業에 leading edge를 주고 있다는 점이다.

다시 말하여 美國政府의 國防省은 産業界에 對한 刺戟과 動機附與으로써 間接的으로 國防을 하는 面도 있다는 점이다. 이러한 動機附與은 여러 나라에서 商工省, 科學技術省, 國防省은 勿論 文教省이나 심지어는 研究費補助나 課題의 委嘱의 形態로 地方政府에서도 하고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 가장 重要的 것은 돈을 주고 그것으로 끝나는 것만이 아니고 具體的인 必要性에서 오는 課題를 주고 結果를 제대로 거둬가야 하겠다는 점이다. 말하자면 事後管理도 잘해야 하고 우선 計劃自體가 (한국의 기술수준의 현실을 勘案하고) 必要性에 立却한 具體的인 것으로서 研究委嘱者의 繼續된 參與가 必要하다. 한국의 경제력, 한국의 需要規模로서는 모든 분야에서 專門家를 두고 그 技術을 維持시킬 정도의 物量이 못될 可能性도 있는 것이니 드문드문 나오는 問題들을 大學이나 研究所에 가져오는 것이 돈보다도, 또는 그밖의 무엇보다도 이들을 育成하여 주는 것이라는 것을 깨닫고 또한 이러한 것은 눈앞의 問題만 解決되면 되는 것이 아니고 研究能力의 涵養을 通하여 다음 일을 위한 디딤돌이 되는 것이니 大學等を 育成하여 주는 뜻에 있어서도 일을 맡겨 주는 큰 마음이 必要하다. 日本에서는 체신부연구소에서 電算機研究를 표방하여 10年以上 Justify하기 어려운 豫算을 썼지만 그것이 오늘날 日本으로 하여금 電算機大國으로 만드는 基本이 되었다고 말할 수 있다.

우리가 앞으로 microsystem等を 中心으로 하여 電子工業을 育成하게 된다는 大前提下에 學校施設에 關한 投資가 科技處, 商工部를 莫論하고 計劃的으로 그리고 꾸준히 繼續的으로 行하여지고, 電子工業振興法 施行의 10年동안 教育機關에는 전혀 投資된 바가 없었다는 前轍을 다시는 밟지 말아야 할 것이다.

* Gigabit 速度의 digital LS1도 GaAs technology로써 다음에 오는 VHSIC II에서 연구될 것이다.

** 結果中 μP 의 規模는 250,000 gates, clock속도 25MHz, 電算速度는 秒當 數千萬 單位가 될 것이다.