Microprocessor의 未來

F·Faggin

Zilog 社 代表理事 社長

1. 序 言

1971年에 最初의 microprocessor가 市場에 나타남으로서 microelectronics의 새로운 時代가 시작되는 계기가 되었다. Microprocessor가 세상에 나타난지 얼마 되지 않은 지금에도 우리를 들뜨게하고 있지만 microprocessor가 電子工學에 관련되는 分野뿐만 아니라 우리社會 전반에 미치는 영향이 계속해서 증대할 것으로 展望되고 있다.

本稿에서 microprocessor의 未來 特히 技術的인 發展과 앞으로 20年間에 microprocessor가 社會에 미치는 影響等에 관한 本人의 意見을 紹介하고저 한다

2. Microelectronics의 發展過程

過去 30年間의 microelectronics의 發展過程을 살펴보기 위해서 그림 1에 現在에 이르기까지의 重要한 事項을 技術과 製品의 面에서 年代順으로 羅列하였다.

Microelectronics의 시작의 계기가 된 transistor가 1947年에 發明되고 나서 다음의 重要段階인 集積回路의 開發까지에는 13年이라는 時日이 경과하였음에 注意하기 바란다.

이 期間동안에 다음의 세가지 基本的인 일이 이루어졌다.

1) 固體電子素子內의 現象에 대한 理論的 基礎를 確立하였다.

2) Transistor製造의 基本材料인 germanium을 silicon으로 바꾸었다

3) Transistor의 大量生産을 可能하게한 planar 技術을 開發하였다.

한個의 基板에 수십개의 電子素子와 結配線을 配置하여 놓은 IC가 처음으로 商品化된 以來로 microelectronics는 극도로 빠른 速度로 進步를 거듭하여 5年마다 한개의 IC의 集積素子의 個數가 10倍로 증가하고 있다.

지난 12年동안에 microelectronics 産業은 pnp型, npn型따위의 bipolar transistor를 主體로 하는 技法에서 MOS技法으로 徐徐히 바뀌었다. 오늘날에 있어서는 MOS技法이 半導體

年代	1947	1950 → 1961	1961 → 1966	1966 → 1971	1971 → 1980	1980 →
技術	Transistor 發明	Discrete 素子	SSI	MSI	LSI	VLSI
製品		Transistor diode etc.	And or inverter flip-flop etc.	Counters adders multiplexers etc.	Ram Rom microprocessor calculator i/o controller etc.	Microcomputer

그림 1. microelectronics의 發展過程

技術의 主導役割을 하고 있으며 앞으로 적어도 10年間은 그러한 狀態가 계속될 것으로 예상된다.

數千個의 transistor를 集積할 수 있도록 半導體技術이 發達하게 되자 자연적으로 半導體記憶素子와 microprocessor가 登場하였다. 最初의 microprocessor인 4004는 약 2200 個의 transistor 다시 말해서 약 750 個의 gate를 集積한 것이었다. 近來에 와서 電算機의 모든 裝置 卽 中央處理裝置(CPU),記憶裝置, 入出力 interface들이 全部 集積回路化되어 있으며 單一 chip 속에 最高 40,000個의 transistor를 집어 넣기에 이르렀다. 그러나 오늘날의 이러한 技術이 놀라운 것으로 보이겠지만, 사실은 아직도 未熟段階에 處해 있다. 그렇게 생각하는 까닭을 앞으로 說明하겠다.

3. Microprocessor 産業

Microprocessor의 未來를 올바르게 評價하기 위해서는 産業의 4個要素의 特性과 그들 相互間의 作用을 理解하고 있어야 한다.

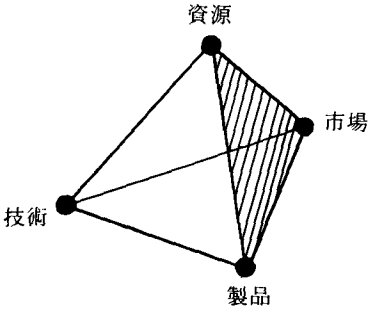

그림 2. 産業의 要素

그림 2 에 나타낸 바와 같이 産業의 4個要素는 技術, 製品, 市場, 그리고 資源이다. 産業의 發展段階에 따라서 그 産業의 擴張에 가장 크게 영향을 미치는 要素가 달라진다. 보통으로는 産業을 制約하는 要素는 年代의 흐름에 따라서 技術, 製品, 市場 그리고 資源의 順序로 달라지고 있다. Microprocessor 産業은 이러한 段階를 매우 急速度로 經過하고 있다.

最初의 microprocessor가 出現하기 以前의 時期는 技術의 制約을 받던 段階였다. 製品開發을 위한 技術이 幼稚하였던 時期를 말한다.

microprocessor 4004의 出現과 8080의 出現 사이의 時期에 製品의 制約을 받는 段階였다. 이 段階에 있어서 制品은 性能과 價格面에서 市場을 광범위하게 자극하기에는 不充分하였다. 市場의 展望이 점차로 밝아지고 새로운 製品의 開發을 促進하게 되었다.

Zilog 社의 microprocessor인 Z 80과 같은 程度의 製品과 單一 chip으로 된 microcomputer의 出現이 市場의 制約을 받는 段階突入의 계기가 되었다. 이 段階에 있어서 製品은 廣範圍한 應用에 有用하게 쓰여질 程度의 水準의 價格一性能比를 가지게 되나 市場擴張의 速度가 産業擴張을 따르지 못하여 오히려 制約要因이 되는 것이었다.

現時期는 市場制約段階에 相當히 깊게 들어와 있으며 數年內에 資源制約段階로 들어서게 될 것으로 보고 있다. 이 段階에 들어서면 財政的 그리고 人的資源이 産業擴張을 制約하는 要因이 된다. 利用할 만한 技術은 開發되어 있고, 特色있는 新製品이 出現하고 市場도 그 規模가 크지만 더욱 急速度로 成長하게 된다. 이제와서는 事業을 成長시키는데에 多額의 投資와 多數의 最高級才能이 要求된다.

이 段階를 거치는 사이에 産業의 構造가 顯著히 變遷하여 그 從事者의 數가 줄어 들고 從事者의 特性이나 類形이 變化한다. 結果的으로 技術革新의 速度가 低下되고 市場性은 더욱 뚜렷해지며 製品은 제각기 市場의 特定部門을 對象으로 하게 된다. 卽 産業은 成熟期에 접어들게 되는 것이다.

4. 技術의 進展過程

Microprocessor의 未來를 제대로 評價하기 위

해서는 資源이 無制限이라는 假定下에서 技術의 未來의 可能한 進展을 檢討할 必要가 있다. 그 다음에 市場의 需要와, 그것을 充足하는데 要하는 資源을 檢討하고 그러한 然後에 microprocessor의 未來의 特性을 評價하기로 한다.

半導體技術의 特徵은 그 性能에 관련되는 評價指數, 가장 有用한 評價指數로서는 다음과 같은 것이 있다.

1) 傳播遲延時間(tpd): 卽 論理 gate를 通過하는 信號의 遲延時間으로서 그 測定單位는 ns(10^{-9} 秒)이다.

2) 速度-電力積: 卽 gate의 傳播遲延時間과 그 消耗電力과의 곱이며 그 測定 單位는 pJ이다.

3) Gate密度와 bit 密度, 그 測定單位는 gate數/mm^2와 bit數/mm^2이다.

4) 每 bit當 그리고 每 gate當의 生產原價, 그測定 單位는 量產體制에서의 ¢/bit, ¢/gate이다.

本人은 MOS 技法만에 관련되는 未來의 傾向을 檢討하기로 한다. MOS 技法은 果然 오늘날의 最優秀技術이며 앞으로 10年間은 이 事實에 變함이 없을 것이다. 이러한 傾向은 大量生產할 수 있는 MOS 技法 製品에도 該當이 된다. 다시 말하면 MOS 製品은 실제로 經濟性이 있고 市場에서 널리 普及될 수 있는 가장 發達한 製品이 될 것이다.

위에서 說明한 評價指數에 영향을 주는 가장 重要한 다음과 같은 두가지 變數가 있다.

1) IC 生產機具로 實現可能한 最小 配線幅

2) 大量生產時에 經濟性이 있는 最大 chip 面積

그림 3은 過去와 未來의 最小配線幅의 傾向을 나타낸 것이다. 高密度記憶裝置와 random 論理回路에 대해서 두개의 曲線으로 나타내었다. 記憶裝置가 random 論理回路보다 配線幅이 가늘다는 點에 주의하기 바란다. 새로운 高級技法을 生產에 適用하는데 記憶裝置를 對象으로 하여본 다음에 論理回路에 같은 技法을 適用하는 것이 業界의 慣例가 되고 있다.

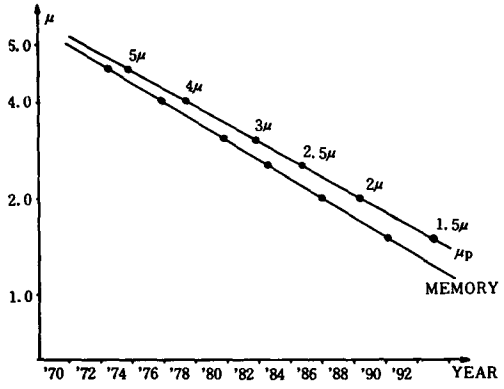

그림 3. 年代에 따른 最小配線幅

Gate密度와 bit密度는 最小配線幅의 自乘에 反比例한다.

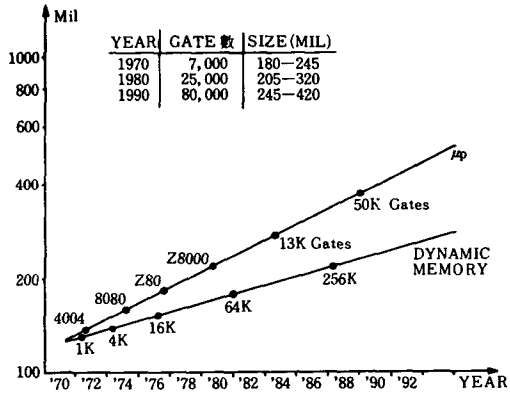

그림 4. 量產 할 경우의 最大 chip크기

그림 4는 大量生產時의 chip의 크기의 過去와 未來의 傾向을 나타낸 것이다. 여기서도 dynamic memory와 random 論理回路에 대한 曲線이 그려져 있다. 실제적인 製品의 集積度와 chip의 크기를 그림안의 表에 나타내었다.

集積度가 점점 增大하는 것이 未來의 傾向이므로 실제적인 chip의 크기는 生產규모에 따라 두曲線 사이의 어느 位置로 나타내질 것이다.

集積度의 水準이 上昇一路에 있으면서 回路의 性能特性도 끊임없이 向上되고 있다. 그림 5에 大量生產에 利用되는 MOS 技法(complementary형태가 아닌)에서의 速度-電力積과 傳播

遲延時間의 過去와 未來의 경향을 나타내었다.

MOS 構造의 限界에 접근함에 따라서 그림의 曲線으로 나타난 減小率이 鈍化되고 있음에 주의하기 바란다.

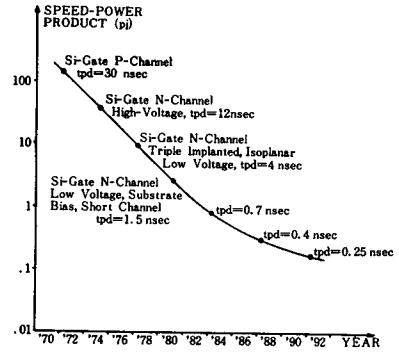

그림 5. 非 complementary MOS 技法의 速度一電力積

그러한 限界는 gate 誘電體와 junction에서의 breakdown 現象에 기인하는 것이며 表面의 高電界와 熱現象으로 인한 mobility의 低下에 原因이 있는 것이다. 이러한 限界의 영향을 極小化하기 위해서는 電源電壓을 줄여야 할 것이며 速度－電力積을 더욱 改善하기 위해서는 결국 C－MOS 技法에 의존하여야 한다.

MOS 技法의 推定限界値를 표 1에 나타내었다.

표 1. 電源電壓

項　　目	限　界	備　　考
電源電壓	400 mV	C－MOS 技法利用
最小配線幅	.25 μ	
速度－電力積	.05 pJ	100 MHz 에서의 CMOS

이 표에 의하면 $2.5 \times 2.5 cm^2$ 크기의 回路라면 대략 2,500萬個의 gate 라는 集積度를 가지게 될 것이다.

이러한 水準에 이르기 위해서는 相當한 努力이 要求되는데 特히 微小형태의 MOS transistor의 物理的 特性을 더욱 파악하여야 하며 配線幅은 micron以下로 줄여야 하며 微小圖形의 正確한 etching을 위한 技術도 向上되어야 한다.

이러한 모든 問題點을 대상으로 研究作業이 進行中에 있으며 그림 3에 나타낸 年代까지에는 成功的으로 完成될 것이라고 기대하여도 無妨하다고 본다.

5. 資　源

앞에서 提示하였던 바와 같은 水準의 集積度 性能을 實現시키기 위해서는 相當한 量의 財政的 그리고 人的資源이 要求된다. 本人의 見解로서는 microprocessor의 未來를 決定하는 制約要因이 여기에 있다고 본다.

그림 6에 每gate에 대한 工場과 設備費用比率의 過去와 未來의 傾向을 나타내었다. 이 分析은 年產 500萬個의 生產能力을 保有하는 工場을 對象으로 한 것이다. 施設과 建物의 減價償을 각각 5年과 25年으로 하고 있다.

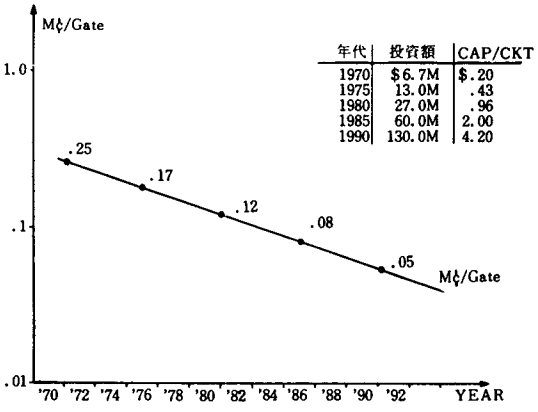

그림 6. 每gate 當의 資本減價償却率

每gate 當의 施設費投資額은 時間의 經過와 더불어 減少하고 있어서 集積度向上이 經濟的으로 利益이 된다는 것을 나타내지만 全體所要投資額은 gate數의 急增에 따라 顯著하게 팽창하고 있음에 주의하기 바란다. 이 事實은 우리의 產業의 事業構造에 重要한 영향을 미치게 된다.

그림 7은 microprocessor의 開發費의 過去와 未來의 傾向을 나타낸 것이다. 그러한 裝置

(μP)의 複雜性, 集積度가 높아지고 開發에 所要되는 人力과 施設의 費用이 上昇하기 때문에 産業界는 과거에 CAD 機具의 活潑한 利用에도 불구하고 gate當의 開發費比率이 改善되지 못하고 같은 水準을 유지할 수 밖에 없었다.

gate當의 開發費를 未來에도 一定하게 유지

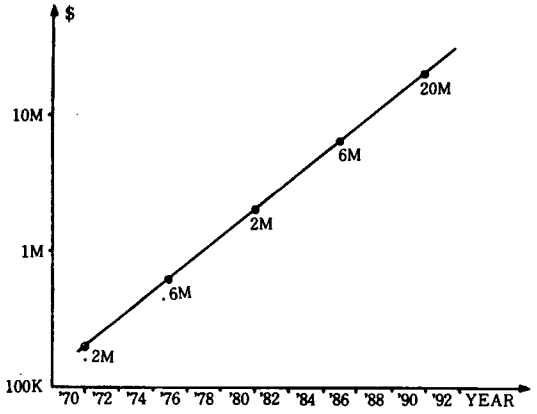

그림 7. Microprocessor의 開發費

하기 위해서는 複雜한 回路設計技術의 相當한 進展이 要求된다는 事實에도 불구하고 이러한 傾向은 持續될 것으로 본다.

이러한 要因이 開發期間의 長期化와 複合的으로 作用하여 microprocessor産業의 性格과 將次 出現하게될 半導體裝置의 形態의 變化에 큰 영향을 미치게 될 것이다.

特別히 關心이 가는 事項은 市場의 需要를 充足시키기 위한 技術과 管理分野의 高度의 人的資源에 대한 需要가 增加하고 있는 點이다. 이러한 現象은 microprocessor 産業뿐 아니라 microprocessor 利用者 社會에서도 該當된다.

Microprocessor의 出現으로 program 可能한 論理系의 利用이 增加하는 傾向이 나타나기 시작하여 現在의 hardware 技術者에 대한 software 技術者의 比率로는 不充分하다는 程度에 이르렀다. 將次는 이 比率이 뚜렷하게 增大될 것이고 必要한 全體 技術者의 數도 역시 增加할 것이다.

6. 市 場

Microprocessor 市場은 1980年代에 年間 25%의 比率로 成長할 것으로 豫想된다. 이대로 進行되면 1990年까지에는 10倍의 增加라는 놀라운 成長을 이루게 될 것이다. 이러한 現象은 microprocessor 産業에 대해서 어려운 問題點을 던지게 되지만 適切한 判斷을 내리는 者에게는 有利한 與件이 되기도 할 것이다.

Microprocessor는 그 利用範圍가 擴大되어 每日같이 새로운 應用方式이 나올 程度에 이르렀다.

計算機에의 應用부터 비롯하여 急速度로 擴大하여 이제는 computer에서 부터 video game, 玩具에까지 이르렀다. 이러한 應用의 例를 列擧하려는 것은 마치 motor를 利用한 例를 물어 보는 것과 같을 것이다. 그러나 몇가지 새로 나타난 重要한 市場이 있는데 自動車, 通信, 民生機器 그리고 事務用機器部門이다. 이러한 市場은 1980年代를 通해서 microprocessor를 탐욕스러울 程度로 要求할 것이며, 1990年까지에는 그 部門이 全體市場의 50% 以上을 차지하게 될 것으로 본다.

7. 製 品

앞에서 言及한 모든 要因을 綜合하여서 microprocessor 製品의 傾向을 살펴보면 成功的인 microprocessor란 다음의 條件을 滿足시키는 것이라야 한다고 믿는다.

1) 數百萬個씩의 販賣力이 있을 것

이 條件은 玩具와 같은 垂直方向의 大規模市場을 相對로 專門化하던가 水平方向의 市場에 該當되는 極度로 廣範圍한 一般用의 것으로 構成하므로써 達成될 수 있다.

2) 利用하기 便利할 것

이것은 system 構成方式이 우수하여 利用者의 意思에 따라 如何한 system이라도 構成할 수 있도록 block이 되어 있으며 文獻記錄과 利

用者에 대한 應用支援이 잘되고 software hardware system 開發 tool로서 우수하다는 뜻이다.

3) 擴張이 可能한 構成方式이 될 것

Software hardware面의 再投資를 하지 않고도 먼저 것과 共存할 수 있는 部品을 追加함으로써 使用者 system의 機能을 擴張할 수 있음을 뜻한다.

4) 使用者에게 附加하는 價値를 增大시킬 것

擴張可能한 構成方式과 software의 基礎增大 그리고 새로운 構成部品을 追加可能性이 複合的으로 作用하여 이 조건을 滿足시킬 수 있다.

1980年代에 걸쳐서 microprocessor는 다음의 세가지 主要한 路線을 따라서 發展할 것이다.

1) 特定의 大量市場을 對象으로 하는 特定目的의 單一 chip으로 된 microcomputer

2) 下, 中級程度의 性能과 精巧度를 要求하는 水平方向 市場을 對象으로 하는 一般用의 單一 chip microcomputer

3) 中, 上級程度의 性能과 精巧度를 要하는 水平方向市場을 對象으로 하는 一般用 microcomputer

여기에서는 一般用級의 micropascessor類만을 對象으로 하여 1990年까지의 展望을 紹介하고저 한다.

나의 見解로서는 一般用 microprocessor 類는 發展을 거듭하여 8, 6, 32 bit의 서로 互換性이 있는 構成部品도 나올것이며 一般用 單一chip microcomputer도 이 部類에 속하는 또 다른 構成部品이 될 것이다.

大部分의 system은 各種의 microprocessor를 使用하여 設計하게 될 것이며,

一流의 microprocessor類는 서로 開發期가 다른 50 내지 100個의 構成部品을 거느리게 될 것이다.

System을 構成하는 서로 다른 processor들은 서로 다른 速度 非同期的으로 作動하게 될 것이며 융통성 있는 buffer를 통해서 相互 連結이 되어 있다.

Bus의 標準化와 bus가 互換性이 있는 構成部品이 實用段階에 이르게 됨에 따라서 소위 TTL "連結體"에 대한 要求가 점차로 감소할 것이다. 相互連結點의 數를 極小化하기 위해서 같은 system內에서 조차 順序的 communication link 方式의 使用이 擴大될 것이다. 1990年까지에는 最高級 microprocessor의 instruction cycle이 100ns 以下가 될 것이며 同期順序的 communication controller의 速度는 秒當 千萬 bit에 이를 것이다.

記憶素子는 system bus에 直接 挿入可能할 것이며 이 點이 構成部品으로서의 便利性을 追加할 것이다.

現在 우리가 直面하고 있는 software 問題點은 80年代末까지에는 解決될 것이라고는 믿지 않으나 高水準 program 言語使用 可能한 processor와 普遍化된 問題點解決用의 構成部品의 使用으로써 이 方面의 進展이 이루어져 있을 것이다

8. Microprocessor의 社會에 대한 影響

20世紀의 前半期의 特徵은 交通手段의 革命일 것이다. 經濟的이고 效率的인 大規模 交通手段의 出現이 오늘날과 같은 社會 卽 人間의 生活方式과 相互間 行動을 形成하는데 큰 영향을 주었다.

今世紀의 後半期의 特徵은 情報處理方式의 革命이라 할 수 있는데 前半期에 있어서의 交通手段의 革命만큼이나 人類社會에 큰 영향을 미친다. 適切한 費用으로 방대한 量의 data를 수집하여 處理하고, 傳達하고 出力시킬 수 있는 能力으로 인하여 電子式郵便物分類, 電子式 預金處理, 電算網의 構成運營, 텔레비전電話, 教育裝置, 患者監視裝置等이 可能하게 될 것이다.

Microcomputer는 交通機關의 engine에 比類할 수 있는 機能을 맡을 것이며, 通信網은 都市나 地方의 高速道路網에 비유할 수 있으며 情報는 通信網을 通해서 高速度로 傳達될 것이다. 우리의 現在의 情報處理能力은 今世紀初의 運搬能力과 같다고 본다. 現在의 電話線路網은 2,000年의 情報傳達網에 比하면 마치 現在의 高速道路, 鐵道, 航空路에 比한 1900年의 鐵道정도로 幼稚한 것이다. 앞으로 50年間에 人類는 莫大한 量의 情報를 效率的으로 廉價로 處理可能하게 될 것이다. 따라서 人間自體는 移動할 必要가 없이 情報가 移動하게 될 것이다. 自己 집에서 工場이나 教育center 같은 곳과 連結된 端末機를 通해서 便하게 공부할 수 있는 사람의 수효가 커질 것으로 豫想할 수 있다.

情報를 處理와 制御를 위해서 廉價로 分配하고 이러한 情報를 複雜한 通信網에 連結하여 情報의 共有를 可能케 할 수 있는 能力이 事業의 構成方式, 相互間의 通信方式, 學習, 勤勞, 醫療受惠方式等에 相當한 영향을 미칠 것이다.

Microprocessor와 關連이 없는 生活이라고는 생각할 수 없게 될 것이며 過去 100 年間에 걸쳐서 engine이 人類社會에 미친 영향과 비슷한 영향이 될 것이다. engine이 人間의 筋肉力의 延張이라고 볼 수 있는 바와 같이 microprocessor는 人間의 頭腦力의 延張이라고 할 수 있다. Microprocessor만이 近代社會가 그 生產性을 改善할 수 있는 希望이다. Engine 이 工場勞動者의 生產性을 向上시킨 바와 같은 程度로 microprocessor는 事務室 勤務者들의 生產性을 改善할 것으로 本人은 믿고 있다.

人間의 生活樣式, 우리 社會의 構造, 人間의 價値觀이 microprocessor와 情報革命으로 크게 영향을 받을 것이다. 그러나 microprocessor의 能力을 充分히 利用할 수 있기 위해서는 他分野의 技術도 開發되고 成熟期에 이르러야 한다. 그러한 技術의 例를 들면,

- 光섬유通信과 衛星通信
- 廉價의 信賴度가 높은 sensor와 actuator
- 低廉한 表示, 記憶, 印刷用의 周邊裝置
- 音聲認識과 合成技術

앞으로 20年間의 microprocessor는 우리社會에서의 大量 情報處理에 必要한 他技術 開發의 推進劑로서의 機能을 다할 것으로 期待한다.

◇