

底泥(Sediment)에서 分離된 微生物에 依한 Carbaryl(1-naphthyl-N-methylcarbamate)의 嫌氣的 分解에 關한 研究

두 옥 주 · 정 문 호

서울대학교 보건대학원

A Study on Anaerobic Degradation of Carbaryl (1-naphthyl-N-methylcarbamate) by Microorganism

Ock Joo Du · Moon Ho Chug

School of Public Health, Seoul National University

ABSTRACT

Carbaryl was degraded to monomethylamine(MA) by bacterium, which isolated from lake sediment. Its carbaryl degradation was maximized when grown on mineral salt medium conditioning 20 μ M of carbaryl as a sole carbon source at 26°C and initial pH 7.0-9.0 Its degradation ability was minimized at initial pH 3.0 and 5.0 The percent conversions $\{(\text{moles of MA in excess of control} / \text{mole of carbaryl added}) \times 100\}$ for 10, 20, 40 and 80 μ M of carbaryl were 18.6, 16.1, 18.1 and 11.6 respectively. It suggests that increasing amount of carbaryl added above 80 μ M, the percent conversion should be decreased. The MA production by the bacterium was lineary related to the cultural time. After 7days culture, its percent conversion was 46.2, and this result suggests that a half amount of carbaryl would be hydrolyzed to MA by the bacterium within 8 days.

Key word : Carbaryl, Monomethylamine(MA), Percentconversion.

I. 緒 論

1940年代 DDT의 合成 以後, 뛰어난 殺蟲效果로 널리 使用되던 유기염소계 農藥은 차츰 그 殘留毒性이 문제가 되어, 世界的으로 60年代末부터 그 使用이 規制되기 始作하였고, 現在는 유기인계 및 Carbamate계 農藥이 널리 쓰이게 되었다.^{1,2}

Carbaryl (1-naphthyl-N-methylcarbamate)은 벼의 글동매미충과 애벌레의 防除에 주로 使用되는

carbamate系 農藥으로, 適用 害蟲의 範圍가 비교적 넓어서³, 國內에서도 年間 200t 정도가 使用되고 있다.⁴ Carbamate系 農藥에 包含되어 있는 多樣한 methyl carbamic acid의 ester結合은 神經傳達組織에 關여하는 Acetylcholinesterase의 作用을 阻害한다.⁵

最近에 美國에서 carbamate계 農藥의 一種인 aldicarb과 그 代謝物質인 aldicarb sulfone, aldicarb oxime이 地下水에서 發見되어⁶ (Long Island, New York, 1979), aldicarb 等の carbamate계 農藥의 水

中 環境內에서의 殘留毒성에 對한 관심이 高潮되었다. Carbaryl이 사람이나 動物에 對해서 急性毒성을 나타내는 濃度는 環境內에서 發見되는 濃度에 비해 매우 높다.^{5,6} 그러나 사람의 腸管內에 形成되는 條件下에서 강력한 發癌物質인 N-nitrosocarbaryl을 形成할 潛在的 可能性이 있으므로⁷ 낮은 濃度の carbaryl에 對해서도 關心이 要請된다.

Carbaryl의 環境內에서의 殘留 및 分解에 關한 研究는 比較的 많다. 特히 環境內에 存在하는 微生物을 利用한 分解에 關하여는 多樣한 研究가 이루어져 있다.^{8,9} 그러나 carbamate계 農藥이 農耕地의 降雨로 因한 汎濫이나, 地下水로의 浸透로 因하여 河川, 貯水池, 江水로 流入될 수 있음에도 불구하고¹⁰⁻¹² 地上的 水中 環境內에서 이 物質의 分布나 殘留에 對한 情報는 그리 많지 않다. Carbaryl에 대한 대부분의 研究는 好氣的 條件 下에서 土壤, 植物體 內의 微生物의 效果 및 이들에 依한 分解에 關한 것으로 局限되어 있다.

嫌氣的 狀態에서는 好氣的 狀態에 비해 酸素가 不足하며, 濃度가 낮고, 빛이 存在하지 않으므로, 好氣的 狀態에서와 다른 分解樣相을 나타낸다.^{13,14} Weber와 Rosenberg,¹⁵ Karinen¹⁶ 등은 carbaryl의 微生物에 對한 效果와 江水에서의 分解에 對하여 研究했다. 그러나 carbamate계 農藥의 嫌氣的 狀態와 好氣的 狀態에서 分解樣相의 差異를 比較한 研究는 드물다.^{13,17} 特히 國內에서는 農產物이나 土壤內의 農藥의 殘留量 評價 및 代謝物質의 確認에 關한 研究가^{18,19} 主로 행해져 왔으며, 嫌氣的 狀態의 環境에서의 carbaryl의 代謝 및 分解에 關한 研究는 거의 없다.

濕地의 토양, 貯水池 등의 低泥(sediment), 地下水 등은 혐기적 상태로 存在하므로, carbamate계 農藥이 嫌氣性 微生物群에 미치는 影響이나, 嫌氣性 條件 下에서 分解되는 機作을 理解하는 것은 重要하다. Kiene 등²⁰과 Weber와 Rosenberg¹⁵에 依하면 carbamate계 농약은 嫌氣的 狀態의 濕地의 土壤과 淡水의 低泥에서 메탄生成反應을 促進하는데, 그 機作은 微生物이 N-methylcarbamate를 加水分解하여 monomethylamine(MA)을 生成하고, 이 化合物을 메탄생성균이 메탄생성반응의 機質로 利用하여²¹ 메탄생성반응을 促進한다고 한다.

本 研究는 貯水池의 底泥에 存在하는 微生物중

carbaryl로부터 MA를 生成할 수 있는 微生物을 분리하여 그 菌학적 特性을 살펴본 後, 그 微生物을 利用하여 carbaryl의 加水分解 產物로 MA를 生成할 때, 다양한 pH 및 carbaryl의 濃度가 微生物의 carbaryl분해에 미치는 影響과 培養時間에 따른 MA의 發生量의 經時的 變化를 알아보기 위하여 視施하였다.

II. 材料 및 方法

1. 實驗材料

Carbaryl(1-naphthyl-N-methylcarbamate, sevin)은 韓國農藥株式會社의 實驗分析用(純度 98%) 製품을 使用하였으며, 貯藏液은 每 實驗時 acetone으로 製造하여 使用하였다.

2. 實驗方法

(1) 菌株의 分離

수원의 원천 貯水池에서 유기물 함량이 풍부한 2.8m 깊이의 底泥를 500g 정도 採取하여 그 즉시 유리병에 가득 채운 後, 密對하여 4℃에서 保管하면서 菌株의 分離源으로 使用하였다.

먼저 土壤에 包含된 모든 微生物을 增殖시키기 위해, Furukawa 등²²의 方法에 따라 Table 1의 A 배지에 底泥를 1-2g 넣은 後, 空기를 除去하기 위해 플라스크에 가득 채우고 고무마개를 하여 26℃에서 3일간 培養하였다.

300ml 플라스크에 Table 1의 B 배지를 분주하고, 121℃에서 15분간 살균한 後 과량의 carbaryl을 넣고 질소가스를 通過시키면서 그 배양액을 接種한 後 고무마개를 한 다음, 플라스크 內部를 嫌氣狀態

Table 1. Composition of media used.

A-medium (organic medium)		B-medium (mineral salts medium)	
glucose	0.5 g	(NH ₄) ₂ SO ₄	1 g
peptone	0.5 g	KH ₂ PO ₄	0.2 g
KH ₂ PO ₄	0.5 g	K ₂ HPO ₄	1.6 g
D. W.	1,000 ml	MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.2 g
(pH 7.0)		Fe SO ₄ · 7H ₂ O	0.01 g
		CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.02 g
		D. W.	1,000 ml
		(pH 7.5)	

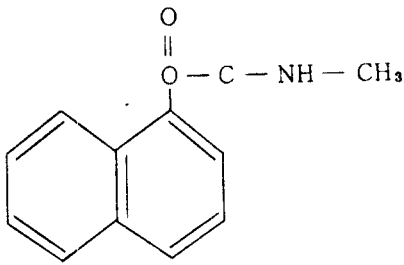


Fig. 1. Chemical structure of carbaryl.

로 만들기 위해 질소가스를 1분간 連續 通過시킨 後 26°C에서 3일간 200rpm으로 진탕배양하였다.

그 培養液의 一定量을 B배지에 1.8% agar를 넣어 製造한 固體平板배지에 接種하여 嫌氣狀態에서 26°C에서 培養한 後, 成長한 집락이 觀察될 때 까지 培養하였다. 그 菌株들을 carbaryl을 包含한 殺菌된 B배지가 담긴 50ml/ 플라스크에 각각 接種한 후 고무마개를 하고, 각각의 플라스크 내부에 室素 가스를 連續 通過시켜 嫌氣 狀態로 하여 26°C에서 3일간 培養하였다. 다시 그 배양액을 稀釋法을 利用하여 5回反復 培養하였다.

(2) 菌株의 선정

B배지를 50ml/플라스크에 25ml/씩 분주하여 殺菌한 唯一한 炭素源으로서 carbaryl을 플라스크 當 20 μM이 되도록 조절하여 0.1ml/의 acetone에 녹여 添加하고 底泥에서 分離된 菌株를 接種시켜 26°C에서 2일간 200rpm으로 진탕 培養하였으며, control로는 carbaryl 없이 0.1ml/의 acetone만을 添加하여 培養하였다.

培養 後, Kiene 等²⁰⁾의 方法으로 monomethylamine(MA)의 發生量을 測定, 比較하여 MA가 가장 많이 發生된 균주를 分解能이 가장 큰것으로 選定하였다.

각각의 菌株에 對하여 實驗은 3回 反復 實施하였다.

(3) Methylamine의 測定

Carbaryl에서 균주에 의해 發生된 MA의 測定 方法은 Kiene 等²⁰⁾의 方法을 變形시켜 使用하였다.

각각의 플라스크에서 주사기로 2ml/의 배양액을 취하여, 遠心分離한 後 1ml/의 上層液을 10ml/ 시험관에 넣었다. 試料의 pH를 1.2N-HCl로 2以下로 만든 다음, 0.01M-(NH₄)₂ SO₄ 0.1ml/을 添加하였다. 常溫에서 마개를 한 後, 플라스틱 주사기로 각각의

시험관에 10N-NaCl/을 1ml/씩 넣어 MA가 氣體 狀態로 되도록 하였다.

2~3時間 後에 1ml³ 플라스틱 주사기로 시험관 上部의 0.5cm³의 氣體를 取하여 Gas Chromatography로 分析하였다. Gas Chromatography의 分析 條件은 Table 2와 같다.

Table 2. Gas chromatography operating parameters.

G.C. Model	: Hewlett Packard 5890A
Detector	: Flame Ionization Detector
Column	: Capillary column SE 54 (12M x 0.3mm)
Packing material	: Carbowax 20 M
Oven temperature	: 60°C
Carrier gas	: N ₂ (30 ml/min.)
Injection size	: 0.5 ml
Detector Temperature	: 200°C

(4) 菌株의 特性

Manual of Methods for General Bacteriology에 따라 選定균주의 諸般 菌학적 特性을 檢討하였다.²³⁾

(5) Carbaryl의 分解 條件

pH : 배지의 初期 pH를 3.0~11.0까지 각각 일정하게 調節한 後 分離 균주를 接種하여, 嫌氣條件 下에서 26°C에서 2일간 培養한 後 2-3과 같은 方法으로 MA 發生量을 測定하여 分解 最適 初發 pH를 檢討하였다.

Carbaryl의 濃度 : B배지의 carbaryl의 濃度を 각각 10 μM, 20 μM, 40 μM, 80 μM로 調節하여 嫌氣條件에서 26°C로 2일간 배양한 後 2-3과 같이 MA 發生量을 測定하여 carbaryl濃도가 分解에 미치는 影響을 검토하였다.

培養時間 : B배지에 20 μM의 carbaryl을 添加하여 嫌氣條件에서 26°C로 배양하면서 2일, 3일, 4일 및 7일의 經時的인 分解量을 測定하여, 培養時間에 따른 MA 發生量을 檢討하였다.

III. 結果 및 考察

1. 菌의 分離 및 特性

菌 分離用 기본 배지를 利用하여 carbaryl의 分解 能인 菌株를 集락의 形態로 구분하여 3株의

細菌을 分離하였다. 이들을 carbaryl을 唯一한 炭素源으로 包含하고 있는 배지에서 培養시킨 後, monomethylamine(MA)의 發生量을 측정하여 比較해 본 結果 S-1 菌株과 S-2菌株에서만이 MA가 발생되었고, 나머지 한 株의 微生物에서는 測定되지 않았다. 이 사실로 미루어 볼 때, 나머지 한 株의 微生物은 carbaryl을 MA로 分解하는 能力이 없고, carbaryl에 대한 tolerance만을 지니고 있다고 생각된다.

S-1 菌株에 의한 MA 發生量은 매우 微量이었고, S-2 菌株에서는 比較的 多量의 MA가 發生되

Table 3. Morphological characteristics of S-2 strain.

Shape	cocci, paired
Motility	-
Flagella	-
Gram staining	-

Table 4. Biochemical characteristics of S-2 strain.

Catalase test	+
Oxidase test	+
Voges Proskauer test	+
Liquefaction of gelatin	-
Nitrate production	+
β -Galactosidase	+
Urea hydrolysis	+
Indole test	-
Tryptophane disaminase	-
Hydrogen sulfide production	-
Citrate utilization	+
Arginine dehydrolase	+
Gas production from sugars	-
Lysine decarboxylase	+
Ornithine decarboxylase	+

Table 5. Utilization of carbon compound by S-2 strain.

Glucose	+	Sucrose	+
Mannitol	+	Melibiose	-
Inositol	-	Amygdaline	+
Sorbitol	+	L(+)-Arabinose	+
Rhamnose	-		

어 carbaryl의 分解能이 큰 것으로 認定되었다.

S-2 菌株의 菌학적 특성을 檢討한 結果는 Table 3, 4 및 5와 같다. 이 菌株는 Gram 陰性的의 雙球菌으로, 運動性이 없으며, 通性 嫌氣性으로 나타났다. 이 菌株는 A배지에서 pH 7.0~9.0사이에서 잘 生育하였고, Oxydase가 陽性이며, H₂S는 發生시키지 않았다. 以上の 結果를 참고하여 Bergey 편람²⁴에 따라 檢索한 結果 S-2 菌株는 *Neisseria* 屬에 속하는 菌株인 것으로 定되었다.

2. Carbaryl의 分解

Carbaryl은 加水分解에 의해 1-naphthol이 生成되는 것으로 알려져 있다.^{15,16} 또한 carbamate계 農藥은 가수분해되어 MA를 放出하며^{14,20,24} MA는 몇 種類의 메탄생성균이 메탄생성반응의 기질로 이용하여 CH₄를 發生시키거나, 황환원균에 의해 CO₂로 轉換된다고 알려져 있다.²¹ 底泥에서의 이와같은 加水分解로 carbaryl은 Acetylcholinesterase 損害能力이 喪失되며, nitrosocarbaryl 形成이 不可能해짐으로써 無毒化된다.

Carbaryl의 S-2 菌株에 의한 分解에 對한 carbaryl濃度の 影響을 檢討한 結果는 Fig. 2 와 같다.

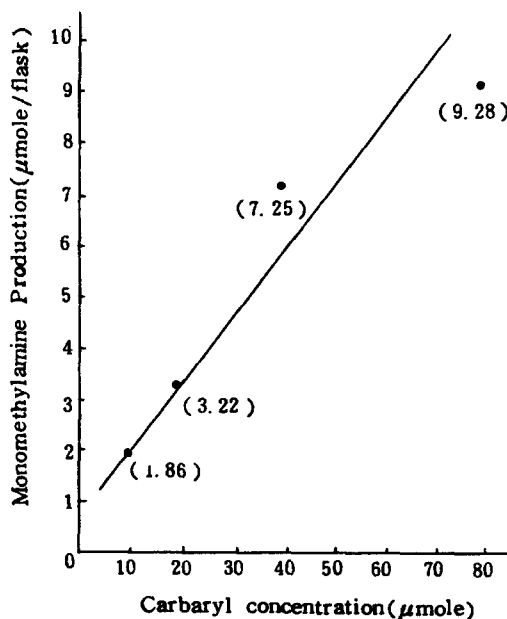


Fig. 2. Effect of carbaryl concentration on the degradation of carbaryl by S-2 strain.

carbaryl의 濃度가 10 μ M에서 80 μ M로 높아짐에 따라 發生하는 MA의 量도 1.86 μ M에서 9.28 μ M로 增加하는 것을 볼 수 있다.

Carbaryl에는 하나의 N-methyl기가 包含되어 있고, MA로 轉換 될 수 있는 다른 構造를 포함하고 있지 않다는 假定下에서, 이것을 添加한 carbaryl의 MA로의 轉換率[(moles of excess MA above that of controls/mole of carbaryl added) X 100]로 나타내면 Table 6과 같다. 각 濃度에서의 轉換率은 11.6%에서 18.6%로 비슷한 結果를 보였고, carbaryl의 濃度가 가장 높은 80 μ M의 경우 轉換率이 약간 低下됨을 알 수 있었다.

實驗에 使用된 carbaryl의 濃度는 環境내에 殘留하는 濃度에^{25,26)} 비해 매우 높은 농도인데, Fig. 2에서 比較的 높은 농도인 80 μ M에서도 첨가된 carbaryl의 양에 대한 MA발생량이 比例的으로 增加하였다. ($r = 0.951$) 따라서 농도가 높은 狀態에서도 S-2 菌株의 carbaryl분해능은 큰 影響을 받지 않는 것으로 나타났다.

여러 研究者들에 依하면, carbaryl은 酸性인 狀態에서 보다는 알칼리성인 狀態에서 보다 빠르게 分解되는 것으로 알려져 있다.^{26,27)}

Carbaryl의 分解에 대한 培養 初期의 pH의 影響을 檢討한 結果는 Fig. 3에 나타난 바와 같이, pH 9.0에서는 7.0에 비해 약 2.5배, 5.0에 비해 8.5배가 넘는 分解量의 差異를 보이고 있다. 그러나 pH 3.0이나 5.0에서, 즉 강한 酸性인 경우에는 分解量이 甚히 低下되었다. pH 11에서는 pH 7.0이나 9.0일 때와 比較할 때 MA發生量이 현저히 低下되었지만, 강한 酸性인 pH 3.0에 비해 약 6배 정도 많은 MA가 生成된 것을 볼 수 있다.

pH 實驗에 使用된 carbaryl의 濃度는 環境내에 殘留하는 濃度^{16,25)}에 비해 매우 높은 濃度인데, 濃도가 높은 狀態(80 μ M/flask)에서도 S-2 菌株의 분해능은 큰 影響을 받지 않는 것으로 나타났다 ($r = 0.951$).

S-2 菌株가 carbaryl을 分解할 때, 培養時間에 따른 經時的 變化를 檢討한 結果는 Fig. 4와 같다.

培養時間이 길어질수록 發生된 MA는 蓄積되는 것으로 나타나, carbaryl의 分解로 發生된 MA가 媒탄 發生菌이 媒탄생성반응에 이용하기 전까지 生成된 MA가 蓄積된다는 Kiene 等²⁰⁾의 結果와 一致한다. 또한 7일간 培養後의 carbaryl의 MA로의 轉

換率은 46.2%로서, Kiene 等²⁰⁾이 報告한 10일간 培養後의 전환율인 57.2%와 비슷한 結果를 나타내고 있다.

이와 같은 結果에서 S-2 菌株에 依한 carbaryl

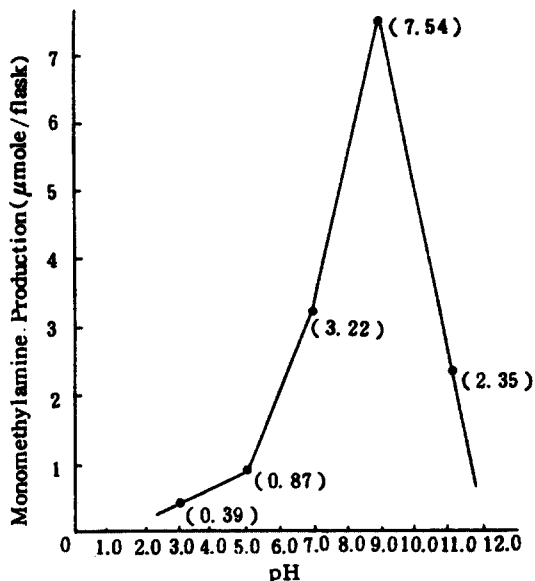


Fig. 3. Effect of pH on the degradation of carbaryl by S-2 strain.

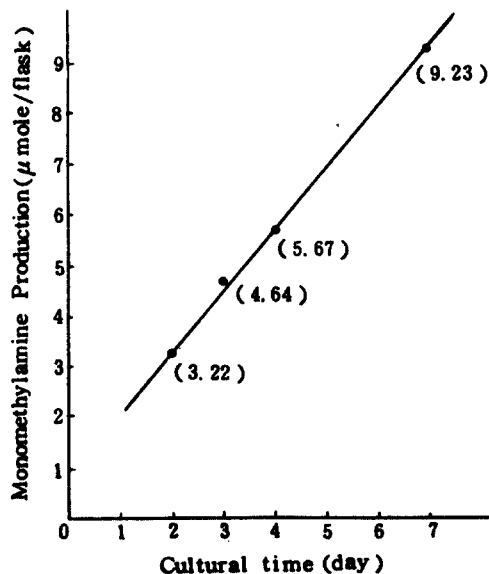


Fig. 4. Effect of cultural time on the degradation of carbaryl by S-2 strain($r=0.999$).

의 MA로의 분해에 있어서 半減期는 7-8일로 推定된다. carbaryl은 一般 土壤에서는 그 半減期가 약 8일 정도로서 살포후 40일이내에 完全 分解된다고 報告되어 있으나²⁶⁾, 42일後에도 少量이 殘留한다는 報告도 있다.¹⁶⁾ 또한 carbaryl 처리 후 40일 동안 carbaryl이 分解되지 못하고 95%가 分해되는데 135일이 所要되었다는. 연구결과도 있다.²⁸⁾ Karinen 等²¹⁾에 따르면, carbaryl이 土壤이나 作物에 살포된 후 水系로 流入되면 水中에서 土壤에서보다 빠른 速度로 分解되는데, 이것은 流入된 carbaryl의 50%가량이 水系에서 바닥의 低泥에 吸收되는 기작에 起因한다. 이렇게 流入된 量의 50% 정도를 吸收한 低泥에서는 여러가지의 分解機作에 依한 分解作用이 일어나, 비교적 빠른 시일내에 carbaryl의 濃度가 低下되지만 42일 後에도 微量의 carbaryl이 發見되었다고 한다.

Carbaryl의 分解에 関여하는 因子로 低泥 中에 存在하는 有機物의 種類와 含量, 低泥의 土壤 構成成分, 다른 微生物의 存在, 温度等을 들 수 있지만^{29,30)} 그 中에서도 微生物이 차지하는 比重은 매우 큰것이다.³¹⁾

本 研究에서 나타난 S-2 菌株에 依한 carbaryl의 分해율이 低泥의 모든 成分을 包含한 곳에서의 分해율²⁰⁾과 그다지 큰 差異를 보이지 않는 것으로 미루어 볼 때, 貯水池의 低泥에서의 carbaryl의 分解는 特定 微生物의 活動에 大部分 依存하는 것으로 推定된다.

IV. 結論 및 要約

本 研究에서는 低泥에 包含되어 있는 微生物을 培養하여, carbaryl의 分解能이 있는 菌株를 分離하여 그 菌株의 ぜ반 菌學의 特性을 알아보고, 그 菌株를 利用한 carbaryl의 分解에 對한 pH와 carbaryl의 濃度의 영향과 培養時間에 따른 經時的 變化를 檢討하였다.

그 實驗 結果는 다음과 같다.

1. 低泥에서 分離된 carbaryl 分解能을 지닌 菌은 두 種類였으며, 그 中 한 종류의 菌株는 탁월한 分解 能力을 갖고 있었다.
2. 低泥에서 分離된 菌株를 利用한 carbaryl의 分解는 pH 9.0에서 가장 活潑하였으며, pH 3.0과 5.0에서는 매우 底調하였다. 또한 carbaryl의 濃度

Table 6. Percent conversion of carbaryl to monomethylamine by S-2 strain.

carbaryl concentration (μ M)	% conversion to MA* (range **)
10	18.6 (12.4 ~ 20.2)
20	16.1 (11.6 ~ 19.3)
40	18.1 (10.7 ~ 21.5)
80	11.6 (9.8 ~ 17.9)

* : Percent conversion was calculated as (mole excess MA above controls/mole carbaryl added) \times 100

** : The range was obtained in triple experiments.

가 10-80 μ M로 증가하는 것에 無關하게 일정한 分解率을 나타냈다.

3. 低泥에서 分離된 菌株를 利用한 carbaryl의 monomethylamine으로의 分解에 있어서 半減期는 약 8일 정도로 나타났고, 分解率과 培養時間 사이의 그래프는 일직선에 가깝게 나타났다.

참고 문헌

1. 차철환 : 우리나라의 農藥使用이 建康 및 環境에 미치는 問題, 대한보건협회지, 11(1) 3-13, 1985.
2. 김돈균 : 農藥이 建康에 미치는 影響, 한국농촌의학회지, 6(1), 82, 1981.
3. 崔承允, 李斗珩, 梁恒承 : 新稿 新農藥, 1990.
4. 農藥年譜, 농약공업협회, 1987.
5. Hayes, W.J. : Toxicology of Pesticides, The Williams and Wilkins Company, Baltimore, 192, 1975.
6. Zaki, M.H., Moran, D. and Harris, D. : Pesticides in Groundwater: The Aldicarb Story in Suffolk County, New York, Am. J. Public Health. 72, 1391-1395, 1982.
7. Elespuru, R., Lijinsky, W. and Setlow, J.K. : Nitrosocarbaryl as a Potent Mutagen of Environmental Significance, Nature, 247, 386-387, 1974.
8. Tewfik, M.S. and Hamdi, Y.A. : Decomposition of Sevin by a Soil Bacterium, Acta. Microbiol. Pol. Ser., B2, 133-135, 1970.

9. Ballog, J.M. and Liu, S.-Y. : Degradation of Sevin by soil Microorganisms, *Soil Biol. Biochem.*, 3, 337-345, 1971.
10. Jones, R.L., Hornsby, A.G. and Rao, S.C. : Degradation and Movement of Aldicarb Residues in Florida Citrus Soils, *Pestic. Sci.*, 23, 307-325, 1988.
11. Stoker, H.S. and Seager, S.L. : Movement of Pesticides in The Environment, In: Bockris, J.O (ed.) 12 Osman, M.A. and Bedal, M.A. : Persistence of Carbaryl in Canal Water, *J. Environ. Sci. Health*, B15, 307-311, 1980
12. Osman, M.A. and Bedal, M.A. : Persistence of carbaryl in Canal Water, *J. environ. Sci. Health*. B15, 307-311, 1980
13. Ou, L.T., Edvardsson, K.S.V. and Rao, P.S.C. : Aerobic and Anaerobic Degradation of Aldicarb in Soils, *J. Agr. Food Chem.*, 33(1), 72-78, 1985.
14. Lamley, A.T. and Zhong, W.Z. : Hydrolysis of Aldicarb, Aldicarb Sulfoxide, and Aldicarb Sulfone at Parts Per Billion Levels in Aqueous Mediums, *J. Agr. Food Chem.*, 32(4), 714-719, 1984.
15. Weber, F.H. and Rosenberg, F.A. : Interactions of Carbaryl with Estuarine Bacterial communities, *Microb. Ecol.*, 10, 257-269, 1984.
16. Karinen, J.F., Lamberton, J.G., Stewart, N.E. and Terriere, L.C. : Persistence of Carbaryl in the Marine Estuarine Environment. Chemical and Biological Stability in Aquarium Systems, *J. Agr. Food Chem.*, 15(1), 148-156, 1967.
17. Miles, C.J. and Delfino, J.J. : Fate of Aldicarb, Aldicarb Sulfoxide and Aldicarb Alfone in Floridan Groundwater, *J. Agr. Food Chem.*, 13(3), 455-460, 1985.
18. 이해근, 이영득, 신용화 : 논土壤중 農藥殘留에 關한 調查研究, 농촌진흥청 농사시험보고, 26(2), 99-104, 1983.
19. 이해금, 최용순, 최규열 : 과일 및 野菜의 Carbamate계 農藥의 殘留量, 한국식품위생학회지, 2(1), 3-8, 1987.
20. Kiene, R.P. and Capone, D.G. : Stimulation of Methanogenesis by Aldcarb and Several Other N-methyl Carbamate Pesticides, *Appl. Environ. Microbiol.*, 51(6), 1247-1251, 1986.
21. King, G.M., Klug, M.J. and Loovely, D.R. : Metabolism of Acetate, Methanol, and Methylated Amines in Intertidal Sediments of Lowes Cove, *Marine Appl. Environ. Microbiol.*, 45(6), 1848-1853, 1983.
22. Furukawa, K. and Matsumura, F. : Microbial Metabolism of Polychlorinated Biphenyls. Studies on The Relative Degradability of Polychlorinated Biphenyl Components by *Alkaligenes* sp., *J. Agr. Food Chem.*, 24(2), 251-256, 1976
23. Gerhardt, Murray, Costilow, Nester, Wood, Krieg and Phillips : *Manual of Methods for General Bacteriology*, ASM, 127-131, 409-443, 1981.
24. Buchanan, R.E. and Gibbons, N.E. : *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* (8th ed.). The Williams & Wilkins Co., Baltimore, U.S.A., 1974.
25. Knaak, J.b. : Biological and Non-biological Modifications of Carbamates, *Bull. W.H.O.*, 44, 121-131, 1971.
26. Ju., C.H. : Pesticides in Water, Effects on Human Health, *J. Environ. Health*, 34(5), 501-508, 1972.
27. Laveglia, J. and Dahm, P.A. : Degradation of Organophosphorous and Carbamate Insecticides in The Soil and by Soil Microorganisms, *Annu Rev. Entomol.*, 22, 483-513, 1977.
28. Lichtenstein, E.P., Schulz, K.R., Skrentny, R.F. and Tsukano, Y. : Toxicity and Fate of Insecticide Residues in Water, *Arch. Environ. Health*, 12, 199-212, 1966.
29. Caro, J.H., Freeman, H.P. and Turner, B.C. : Persistence in soil and Losses in Runoff of Soil-Incorporated Carbaryl in a Small Watershed, *J. Agr. Food Chem.*, 22(5), 860-863, 1974.
30. Alexander, M. : *Biodegradation of Chemicals*

- of Environmental Concern, Science, 211, 132-138, 1981.
- 31 Alexander, M. : Biodegradation of Organic chemicals. Environ. Sci. Technol., 18(2), 106-111, 1985.
32. Kobayashi, H. and Rittmann, B.E. : Microbial Removal of Hazardous Organic Compounds, Environ. Sci. Technol., 16(3), 170A-183A, 1982.