

우리나라 논토양의 화학성 현황과 변동

강성수* · 노안성¹ · 최승출² · 김영상³ · 김현주³ · 최문태⁴ · 안병구⁵ · 김현우⁶ · 김희권⁶ · 박준홍⁷ ·
이영한⁸ · 양상호⁹ · 류종수¹⁰ · 장용선 · 김명숙 · 손연규 · 이창훈 · 하상건 · 이덕배 · 김유학

농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료과, ¹경기도농업기술원, ²강원도농업기술원, ³충북농업기술원, ⁴충남농업기술원,
⁵전북농업기술원, ⁶전남농업기술원, ⁷경북농업기술원, ⁸경남농업기술원, ⁹제주농업기술원, ¹⁰국립식량과학원 고령지농업연구센터

Status and Changes in Chemical Properties of Paddy Soil in Korea

Seong-Soo Kang*, Ahn-Sung Roh¹, Seung-Chul Choi², Young-Sang Kim³, Hyun-Ju Kim³, Moon-Tae Choi⁴,
Byung-Koo Ahn⁵, Hyun-Woo Kim⁶, Hee-Kwon Kim⁶, Jun-Hong Park⁷, Young-Han Lee⁸, Sang-Ho Yang⁹,
Jong-Soo Ryu¹⁰, Young-Sun Jang, Myeong-Sook Kim, Yeon-Kyu Sonn, Chang-Hoon Lee,
Sang-Gun Ha, Deok-Bae Lee, and Yoo-Hak Kim

Division of Soil and Fertilizer Management, RDA-NAAS, Suwon 441-707, Korea

¹*Gyeonggido Agricultural Research & Extension Services, Hwaseong, 445-784*

²*Gangwondo Agricultural Research & Extension Services, Chuncheon, 200-150*

³*Chungbuk Agricultural Research & Extension Services, Cheongwon, 363-883*

⁴*Chungnam Agricultural Research & Extension Services, Yesan, 340-861*

⁵*Jeollabukdo Agricultural Research & Extension Services, Iksan, 570-704*

⁶*Jeollanamdo Agricultural Research & Extension Services, Naju, 520-715*

⁷*Gyeongsangbukdo Agricultural Research & Extension Services, Daegu, 702-708*

⁸*Gyeongsangnamdo Agricultural Research & Extension Services, Jinju, 660-985*

⁹*Jeju Agricultural Research & Extension Services, Seogwipo, 697-828*

¹⁰*Highland Agriculture Research Center, Pyeongchang, RDA-NICC, 441-857*

Soil chemical properties of agricultural soils in Korea were investigated at four-years interval in order of paddy, plastic film house, upland, and orchard soils since 1999. Paddy soil samples were taken from the surface 15 cm at 4,047, 2,010, 2,110 and 2,110 sites in all provinces of South Korea in 1999, 2003, 2007 and 2010, respectively. Soil chemical properties in Korea except Jeju province were measured. Soil pH and exchangeable calcium and available silicate contents increased with increasing the application rate of silicate fertilizer and with decreasing its application interval. Soil organic matter content also increased from 22.0 g kg⁻¹ in 1999 to 26.0 g kg⁻¹ in 2011. Average concentration of available phosphate in 2011 was higher than the upper limit of its optimal range for rice cultivation. However, exchangeable magnesium and available silicate contents were below the lower limit of their optimal ranges, which were 80% and 92% of them, respectively.

Key words: Paddy soil, Soil chemical property, Optimal range, Available silicate

서 언

농경지의 생산성은 재배면적의 확보와 단위면적당 생산량에 좌우된다. 벼 재배면적은 2001년 1,146 천ha에서 2006년 1,084 천ha, 2011년 960 천ha로 점차적으로 감소되는 추세이기 때문에 단위면적당 생산량의 향상을 도모하고 있다. 단위면적당 생산량은 기상조건, 벼 품종, 토양비옥도 수준,

농가의 재배관리 등에 의해 좌우되며 식량안보와 밀접하게 관련되기 때문에 국가의 농경지에 대한 지속적인 생산성 변동에 대한 모니터링이 요구된다.

국가적인 논토양 관리 대책을 세우기 위해서는 주기적으로 전국적인 규모의 토양비옥도 조사가 필요하다. Jung et al. (1998)은 우리나라 논토양 비옥도 변동을 5년 주기로 파악하기 위하여 1990년과 1995년에 1,168개의 동일한 지점에서 이앙 전 3월부터 5월 사이에 표토를 0~15 cm 깊이로 채취하여 분석하여 보고하였다. 이후 1998년도에 친환경농업 육성법이 시행됨에 따라 동법 제11조 토양자원 및 농업환경

접수 : 2012. 11. 26 수리 : 2012. 12. 7

*연락처 : Phone: +82312900333

E-mail: sskang33@korea.kr

실태조사에 따라 1999년부터 전국적인 규모의 농업환경변동조사가 시작되어 현재까지 수행되어오고 있다 (RDA, 2012; RDA, 2008). 이 중 논토양 화학성에 대한 장기적인 변동조사는 농촌진흥청과 각 도의 농업기술원과 공동으로 1999년부터 4년 1주기로 2011년까지 조사하였다. 2007년까지의 조사결과는 Kim et al. (2010)이 보고한 바 있다. Ahn et al. (2012)는 전북지역 논토양 화학성변화를 지형특성에 따라 분석하여 보고한 바 있고, 경남지역의 논토양 지형과 화학성의 관계 (Lee et al., 2012a), 논토양의 중금속 함량조사 (Lee et al., 2012b) 결과를 보고한 바 있다. 이에 본 연구는 1999년부터 2007년까지의 조사결과에 2011년의 조사를 추가하여 우리나라 논토양의 화학성 현황과 변동에 대한 모니터링 결과를 보고하고자 하였다.

재료 및 방법

우리나라 논토양의 화학성을 주기적으로 조사하기 위하여 1999년에 각 도별, 19개 농업기후지대별 (Choi and Yun, 1989) 및 지형별 분포면적 비율을 고려하여 전국 4,047지점을 선정하여 토양시료를 채취하였다. 2003년에는 1999년의 조사지점 중에서 2,010지점을 선택하여 채취하였다. 2007년에는 해발 400 m 이상 지점의 고령권 100지점을 추가하여 2,110지점에서 채취하였고, 2011년에 2007년 조사지점과 동일하게 토양시료를 채취하였다. 도별 토양시료의 비율은 경기 11.4%, 강원 7.1%, 충북 10.4%, 충남 12.3%, 전북 14.2%, 전남 13.3%, 경북 12.3%, 경남 12.3%, 제주, 1.9%, 고령권 4.7%였다. 토양시료는 벼 이앙 전인 3월부터 5월 사이에 표토 0~15 cm 깊이로 채취하였다. 채취한 토양은 그늘에서 풍건하여 2 mm 체를 통과시켜 조제하였다. 토양의 화학성 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NAAS, 2010a)에 따라 pH

는 토양과 증류수의 비율을 1:5 (w/w)로 하여 진탕한 후 pH meter로 측정하였고, 이 현탁액에 대하여 전기전도도 (EC, electrical conductivity)를 측정하였다. 유기물은 Tyurin법으로, 유효인산은 Lancaster법으로, 치환성양이온은 1.0 M NH₄OAc (pH 7.0)법으로 분석하였다. 유효규산은 1.0 M NaOAc (pH 4.0)로 침출하여 비색정량하였다.

조사된 전국 논토양 분석결과 중에서 논 면적이 적은 제주 제외하고 화학성 평균의 연차간 변화를 분석하였고, 작물별시비처방기준 (NAAS, 2010b)의 벼 재배 시 화학성 적정범위를 기준으로 부족, 적정, 과다비율을 구하여 연차별 변화를 비교하였다.

결과 및 고찰

논토양 화학성 평균 1999년부터 2011년까지 4년 1주기로 조사한 논토양 화학성의 평균과 범위는 Table 1과 같다. 2011년의 논토양 pH는 5.9 (4.1-8.4), 유기물 함량은 26 (3.3-81.3) g kg⁻¹, 치환성칼륨, 칼슘, 마그네슘은 각각 0.3, 5.1, 1.25 cmol_c kg⁻¹이었으며, 유효규산함량은 146 g kg⁻¹이었다. pH는 1999년 5.7에서 5.8, 5.9로 증가하여 왔다. 치환성칼슘은 4.0에서 5.0 cmol_c kg⁻¹으로 증가하였고, 유효규산 (Avail. SiO₂)은 84 에서 146 mg kg⁻¹으로 지속적으로 증가하였으나 적정범위 이하였다. 유기물 함량은 22.0에서 26.0 g kg⁻¹으로 증가하여 적정범위에 속하였다. 그러나 유효인산 (Avail. P₂O₅)은 137 에서 131 mg kg⁻¹으로 다소 감소하였고, 치환성 마그네슘은 1.35에서 1.25 cmol_c kg⁻¹으로 감소하는 경향을 보였다. 논토양 화학성 평균 중에서 유효인산은 적정범위 상한기준을 1.1배 초과하였고 치환성마그네슘과 유효규산은 적정범위 하한기준보다 각각 80%, 92% 수준을 나타냈다.

Table 1. Chemical properties of paddy soils in Korea except Jeju province.

Year	pH	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cation			Avail. SiO ₂	Number of sample
				K	Ca	Mg		
	(1:5)	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	mg kg ⁻¹	
1999	5.7	22.0	137	0.32	4.0	1.35	84	4,007
	(4.2-8.9) [†]	(0.5-75.0)	(0-1,218)	(0.04-4.14)	(0.2-27.4)	(0.1-11.2)	(0-1,009)	
2003	5.8	23.1	141	0.30	4.6	1.31	118	1,710
	(4.1-8.4)	(1.0-86.1)	(1-1,123)	(0.03-2.11)	(0.7-25.8)	(0.1-13.9)	(10-674)	
2007	5.8	23.8	132	0.29	4.7	1.32	126	2,070
	(4.2-8.2)	(1.2-80.9)	(1-1,450)	(0.01-1.75)	(1.0-22.8)	(0.05-7.06)	(5-1,359)	
2011	5.9	26.0	131	0.30	5.1	1.25	146	2,070
	(4.1-8.4)	(3.3-81.3)	(2-1,338)	(0.03-3.12)	(0.4-27.2)	(0.10-6.72)	(0-1,316)	
Optimum range	5.5-6.5	25-30	80-120	0.25-0.30	5.0-6.0	1.5-2.0	157-180	-

[†]Minimum-Maximum value.

논토양 화학성분 함량 분포율 우리나라 논토양의 화학성 적정범위를 기준으로 (NAAS, 2010b) 부족/낮음, 적정, 과다/높음의 비율은 Fig. 1과 같다. pH의 경우 1999년과 2003년에는 적정범위를 6.0~6.5로 적용하였으나 (농촌진흥청 2000, 2004; Kim et al., 2010), 여기에서는 현재의 기준인 5.5~6.5를 적용하여 비율을 구하여 비교하였다. 유효규산의 경우에도 과거의 기준인 130~180 mg kg⁻¹이 아닌 현재의 기준 157~180 mg kg⁻¹을 적용하여 비율을 구하여 비교하였다. 토양 pH와, 유효규산, 치환성칼슘의 변화양상은 서로 비슷하였다. 각각의 과다와 적정비율은 2011년까지 서서히 증가하는 경향을 보였다. 반면 적정기준보다 낮음의 비율은 계속 감소하는 경향을 보였다. 이들 성분의 변화는 규산질비료와 관련이 있을 것으로 판단된다. 규산질비료는 가용성규산 25%와 알카리분 40%를 함유하고 있기 때문에 토양 pH를 높이는 효과가 있다 (Lee et al., 2005). 정부에서는 벼에 대한 규산 사용이 광합성 및 병 저항성, 질소이용율을 증가시키고, 벼 수량과 미질개선에 효과가 있기 때문에 (Cho et al., 2006) 쌀 생산기반인 논토양의 비옥도 향상을 위하여 1957년부터 규산질 비료를 공급하여 왔다. 규산질 비료의 공급주기는 1997년 9년 1주기, 1998~1999년 6년 1주기, 2000년 5년 1주기, 2001~2007년에는 4년 1주기, 2008년부터 현재까지는 3년 1주기로 단축하였고 공급량을 증가시켰다. 이러한 영향으로 논 토양의 유효규산, 치환성칼슘, pH의 평균, 적정과 과다의 비율이 계속 증가하였고, 낮음의 비율은 감소한 것으로 판단된다. 그러나 낮음의 비율이 감소하였음에도 불구하고 2011년 치환성칼슘과 유효규산의 낮음 비율은 각각 55.4%와 69.0%로 여전히 높은 수준을 보였다.

토양유기물 적정 범위의 비율은 1999년에 15.5%에서 2011년 19.1%로, 적정범위보다 높음의 비율은 16.7%에서 28.4%로 증가되었고, 적정범위보다 낮음의 비율은 1999년 67.8%에서 2011년에 52.5%로 감소되었다. 전국 (제주 제외)의 평균값도 1999년에 22.0 g kg⁻¹에서 2011년 26.0 g kg⁻¹으로 증가되었다 (Table 1). 그러나 여전히 논토양의 52%가 적정범위 미만을 차지하고 있기 때문에 논토양의 유기물 향상을

위한 토양관리 방안이 필요한 것으로 판단된다. 토양유기물은 비옥도와 생산성에 중요한 역할을 하며 경운, 작부체계 및 시비에 의한 영향을 받는데 (Dawe et al., 2000; Ladha et al., 2003; Yadav et al., 1998), 지속적인 화학비료의 사용은 유기물 감소와 더불어 벼 생산성을 감소시키는 것으로 알려져 있다 (Nambiar, 1994; Yadav et al., 2000; Duxbury et al., 2000). 2011년의 논토양의 평균 유기물함량은 26.0 g kg⁻¹으로, 1999년에 비해 약 18%가 증가되었다 (Table 1). 논토양에 주요 유기물 공급원은 벼 수확 후 잔존되는 벼 뿌리 및 그루티기가 되지만, 최근 벼 재배를 위한 질소시비량이 110 kg ha⁻¹에서 90 kg ha⁻¹으로 감소되어 비료시비량이 줄었고, 2003년부터 시행된 푸른들가꾸기 사업과 녹비작물 종자대 지원사업을 통해 호밀과 청보리 같은 동절기 녹비작물 재배면적이 확대된 것이 논토양의 유기물 함량 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다.

유효인산 함량의 적정범위 비율은 1999년에 20.8%에서 2011년 18.7%로, 적정범위 이상은 40.0%에서 36.4%로 감소되었지만, 적정범위 이하는 1999년에 39.2%에서 2011년 45.2%로 증가하는 경향을 보였다. 이는 담수기간 중 논토양으로부터 인의 유출이 발생되었거나, 논토양에 대한 인산의 투입량이 감소하였음을 나타내고 있다.

치환성 칼륨 함량의 적정범위 비율은 1999년에 13.7%에서 2011년 15.4%로 증가되었고, 적정범위 이상은 1999년에 40.3%에서 2011년 33.5%로 감소하였으나, 적정범위 이하는 1999년에 46.0%에서 2011년 51.1%로 높아지는 경향을 보였다. 이 또한 논토양에 대한 칼륨의 유출이 증가하였거나 투입량이 감소하였음을 나타낸다. 평균함량도 0.32에서 0.30 cmol_c kg⁻¹로 감소하였으나 적정범위 상한선 수준이었다. 치환성 마그네슘 함량의 적정비율은 1999년에 14.0%에서 2011년 14.2%로, 적정범위 이상은 1999년에 17.8%에서 2011년 13.2%로, 부족 비율은 1999년에 68.2%에서 2011년 72.6%로 증가하였다.

전반적으로 논토양의 화학성 중 정부의 논토양비옥도 유지 정책에 의하여 관리된 유효규산, 치환성칼슘, 유기물 함

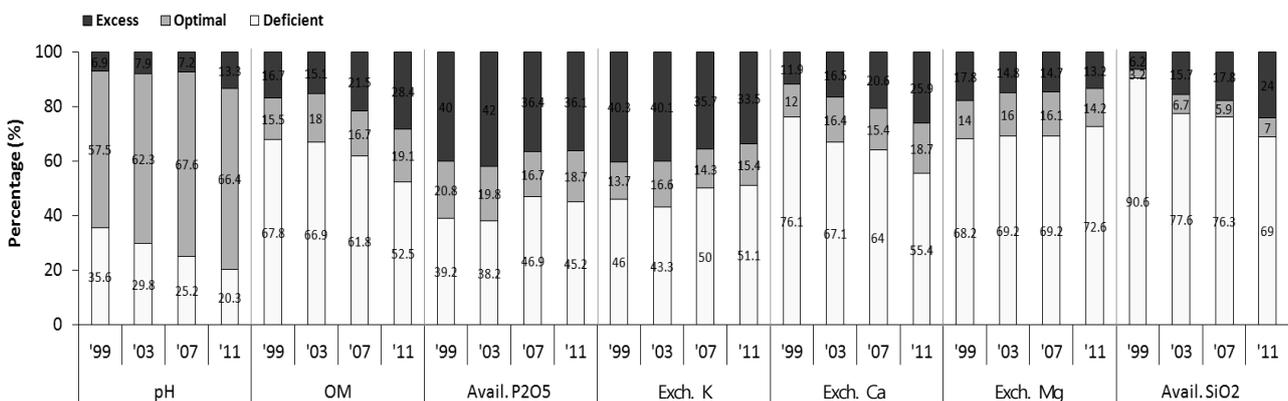


Fig. 1. Excess, deficient and optimal range of chemical properties of paddy soils in Korea except Jeju province.

량 등은 높아지는 경향을 보였으며, 그 이외의 유효인산과 치환성 칼륨 및 마그네슘 함량은 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 양분과다 필지에 대하여는 토양검정에 의한 적정시비량을 준수하고, 규산질비료나 퇴비 등은 양분과다 경지보다는 부족한 경지에 공급될 수 있도록 하는 토양관리 또는 정책개발이 필요할 것으로 판단된다.

요 약

우리나라 논토양의 토양화학성을 4년 1주기로 정점조사하여 1999년부터 2011년까지의 변화를 평가하였다. 2011년 논토양의 화학성 중 측정 평균값은 토양 pH가 5.7, 유기물함량은 26.0 g kg^{-1} , 유효인산 함량은 131 mg kg^{-1} 을 나타냈다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 함량은 각각 0.3, 5.1, $1.25 \text{ cmolc kg}^{-1}$ 이었고, 유효규산 함량은 146 mg kg^{-1} 이었다. 유효인산 함량은 적정범위 상한기준을 1.1배 초과하였고, 치환성 마그네슘과 유효규산 함량은 적정범위 하한기준의 각각 80%와 92% 수준이었다. 측정 평균값이 증가한 항목 중 과다와 적정범위의 비율도 증가하는 경향을 보였고, 적정범위보다 낮음의 비율은 감소하였다. 유효인산과 치환성칼륨 및 마그네슘 함량의 과다 비율은 다소 감소하고 부족비율은 증가하는 경향을 보였다. 따라서 양분과다 경지에 대하여는 토양검정에 의한 적정시비량을 준수하고, 규산질비료나 퇴비 등을 양분과다 경지보다는 부족한 경지로 공급될 수 있도록 하는 토양관리 또는 정책개발이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ006906012012)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

Ahn, B. K., J. H. Lee, K. C. Kim, H. G. Kim, S. S. Jeong, H. W. Jeon, and Y. S. Zhang. 2012. Changes in chemical properties of paddy field soils as influenced by regional topography in Jeonbuk province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(3):393-398.

Choi, D.H. and S.H. Yun. 1989. Agroclimatic zoe and characters of the area subject to climatic disaster in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 34:13-33.

Dawe, D., A. Dobermann, P. Moya, S. Abdulrachman, B. Singh, P. Lal, S.Y. Li, B. Lin, G. Panaullah, O. Sariam, Y. Singh, A. Swarup, P.S. Tan, and Q. X. Zhen. 2000. How widespread are yield declines in long-term rice experiments in Asia. *Field Crops Res.* 66:175-193.

Duxbury, J. M., I. P. Abrol, R. K. Gupta, and K. Bronson. 2000. Analysis of long-term soil fertility experiment with rice-wheat rotation South Asia. In: *Long-term Soil Fertility Experiments in Rice-Wheat Cropping Systems*. Rice Wheat Consortium Research Series 6, eds. I.P. Abrol, K. Bronson, J.M. Duxbury, and R.K. Gupta, pp. vii-xxii. New Delhi, India: Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains

Jung, B.G., G.H. Jo, E.S. Yun, J.H. Yoon, and Y.H. Kim. 1998. Monitoring on chemical properties of bench marked paddy soils in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(3):246-252.

Kim, M.S., W.I. Kim, J.S. Lee, G.J. Lee, G.L. Jo, M.S. Ahn, S. C. Choi, H.J. Kim, Y.S. Kim, M.T. Choi, Y.H. Moon, B.K. Ahn, H.W. Kim, Y.J. Seo, Y.H. Lee, J.J. Hwang, Y.H. Kim, and S.K. Ha. 2010. Long-term Monitoring Study of Soil Chemical Contents and Quality in Paddy Fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(6):930-936.

Ladha, J. K., D. Dawe, H. Pathak, A. T. Padre, R. L. Yadav, B. Singh, Y. Singh, Y. Singh, P. Singh, A. L. Kundu, R. Sakal, A. P. Regmi, S. K. Garni, A. L. Bhandari, R. Amin, C. R. Yadav, E. M. Bhattarai, S. Das, H. P. Aggarwal, R. K. Gupta, and P. R. Hobbs. 2003. How extensive are yield declines in long-term rice-wheat experiments in Asian Field. *Crops Res.* 81:159-180.

Lee, C.H., M. S. Yang, K. W. Chang, Y. B. Lee, K. Y. Chung, and P. J. Kim. 2005. Reducing nitrogen fertilization level of rice (*Oryza sativa* L.) by silicate application in Korean paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(4):194-201.

Lee, Y.H., Y.K. Sonn, S.T. Lee, J.Y. Heo, M.K. Kim, E.S. Kim, W.D. Song, Y.S. Zhang, W.T. Jeon, and Y.S. Ok. 2012a. Topographical chemical properties of paddy soils in Gyeongnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(2):143-148.

Lee, Y.H., Y.K. Sonn, and Y.S. Ok. 2012b. Investigation of heavy metal concentrations in paddy soils of Gyeongnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(3):399-403.

NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010a. Method of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Korea.

NAAS (National Academy of Agricultural Science). 2010b. Fertilization standard of crop. Rural Development Administration. Korea.

Nambiar, K. K. M. 1994. Soil fertility and Crop Productivity under Long-term Fertilizer Use in India. pp. 27-28. New Delhi, India: Indian Council for Agricultural Research.

RDA (Rural development administration). 2000. 1999 Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. RDA, Korea.

RDA (Rural development administration). 2004. 2003 Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. RDA, Korea.

RDA (Rural development administration). 2008. 2007 Annual report of the monitoring project on agro-environmental

- quality. RDA, Korea.
- RDA (Rural development administration). 2008. Monitoring project on agri-environment quality in Korea. one cycle project workshop. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- RDA (Rural development administration). 2012. 2011 Annual report of the monitoring project on agro-environmental quality. RDA, Korea.
- Yadav, R. L., D. S. Yadav, R. M. Singh, and A. Kumar. 1998. Long-term effects of inorganic fertilizer inputs on crop productivity in a rice-wheat cropping system. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 51:193-200.
- Yadav, R. L., B. S. Dwivedi, K. Prasad, O. K. Tomar, N. J. Shurpali, and P. S. Pandey. 2000. Yield trends, and changes in soil organic-C and available NPK in a long-term rice-wheat system under integrated use of manures and fertilizers. *Field Crops Res.* 68:219-246.
- Yang, C. H., C. H. Yoo, J. H. Jung, B. S. Kim, W. K. Park, J. H. Ryu, T. K. Kim, J. D. Kim, S. J. Kim and S. H. Beak. 2008. The change of Physico-chemical properties of paddy soil in reclaimed tidal land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* :94-102.