

카본아미노실리카 블랙 고성능감수제(CASB-SP)를 사용한 블랙콘크리트의 Mock-up Test 및 현장적용

Mock up test and Field Application of Black Concrete Applying Superplasticizer containing Carbon Amino Silica Black

홍 석 민

한 민 철*

Hong, Seok-Min

Han, Min-Cheol*

Department of Architectural Engineering, Cheong-Ju University, Sangdang-Gu, Cheong-Ju, 360-710, Korea

Abstract

This paper presents the result of a mock-up test and field application of concrete that is black in color thanks to the application of superplasticizer containing carbon amino silica black (CASB-SP). Mock-up specimen with a size of 3000×1500×40 mm was fabricated with black concrete applying 0.5% of CSAB-SP with 27 MPa. After dividing the zone in wall mock-up specimen, three different water repelling agents were applied to verify its effect of efflorescence prevention. It was found that the use of CASB-SP with 0.5% made the black concrete develop a highly clear black color, and the epoxy type water repelling agent had better performance in efflorescence prevention. Based on mock-up test, field application was conducted with bridge member. It was also found that the application of CASB-SP showed favorable results in black color development.

Keywords : carbon black, carbon amino silica black superplasticizer, black concrete

1. 서 론

우리나라의 근대적 건설물들은 기능 및 경제성을 중요시함에 따라 의장적인 요소를 간과하는 경우가 많았다. 그러나 최근의 경우에는 비약적인 경제성장에 따라 생활수준이 높아지면서 인간 친화적인 공간의 창조 등 의장적인 측면에서도 다양한 요구가 나타나고 있다.

일례로 우리나라 태권도 진흥재단 등에서는 전북 무주군에 태권도원을 건립중에 있는데, 많은 건설물중 6개의 교량을 태권도복의 띠를 상징하는 컬러교량으로 설계되어 최상위 2개의 교량은 검정색의 블랙콘크리트로 시공하게 되었다.

일반적으로 콘크리트에 검정색을 발휘하기 위해서는 시멘트 질량의 6~8 % 카본블랙(Carbon black)의 색소를 이용하고 있는데, 단 이 경우는 카본의 AE제 흡착작용으로 내동해성에 필요한 공기량이 확보되지 않음에 따라 실내용으로 밖에 사용할 수 없었다[1]. 따라서 이전 연구에서 카본블랙의 표면을 아미노 실리카(Amino Silica)로 개질하고, 또한, 표면에 폴리칼본산계 고성능 감수제를 붙여 CASB-SP로 개발함으로써 Figure 1 과 같이 양호한 분산성에 따라 카본블랙량으로는 0.5 %, CASB-SP 상태로는 2.5 %의 사용량으로 내동해성에도 문제가 없는 양질의 블랙콘크리트를 개발하였다[2,3,4].

그러므로 본 연구에서는 CASB-SP를 태권도원 2개의 교량에 적용하기에 앞서 Mock-up test를 실시하였는데, 이 경우에는 백화를 방지하기 위한 3종의 발수제 종류로 표면도포 변화를 포함시켜 실험하였고, 최종적으로는 실제교량에 블랙콘크리트를 적용하여 완성하였는데, 이와 같은 일련의 Mock-up test 및 현장적용 내용에 대하여 보고한다.

Received : October 8, 2013

Revision received : October 22, 2013

Accepted : October 28, 2013

* Corresponding author : Han, Min-Cheol

[Tel: 82-43-229-8484, E-mail: twhan@cju.ac.kr]

©2013 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

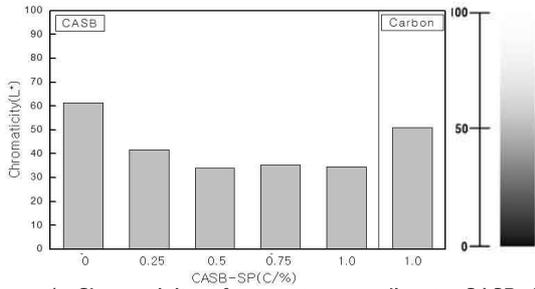


Figure 1. Chromaticity of concrete according to CASB-SP dosages

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 Mock-up test 실험은 Table 1과 같이 계획하였다.

본 실험에 사용된 콘크리트의 경우는 레미콘으로 규격은 25-27-180을 사용하였으며, 목표 공기량은 4.5 ± 1.5 %만 족하도록 주문하였는데, 레미콘 배합사항은 Table 2와 같다.

실험변수로는 콘크리트 표면의 백화현상 비교 및 방지를 목적으로 발수제를 무도포 1수준과 발수제 종류변화로 에폭시, 폴리실리카 및 실리콘의 3수준을 도포하는 것으로 실험 계획 하였다.

실험사항으로는 굳지않은 콘크리트에서 슬럼프, 공기량, 응결시간을 측정하는 것으로 계획하였고, 경화 콘크리트에서는 재령별 압축강도 및 발색도를 측정하였다.

Table 1. Experimental plan

Factors		Levels
Mixing factors	Ready-mixed concrete specification	25-27-180
	Air content (%)	4.5±1.5
	CASB-SP dosage ¹⁾ (%)	0.50
Water repelling agents		Epoxy, Poly silica, Silicon
Experiment	Fresh concrete	Slump Air content Setting time
	Hardened concrete	Compressive strength (3, 7, 28, 91 days) Chromaticity (7, 28, 91 days)

1) Composition of CASB-SP=CASB(20):Superplasticizer(6):Water(74)

Table 2. Mix proportion of black concrete

Specification	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				
			W	C	S	G	AD
25-27-180	45	48	168	374	849	942	11.6

2.2 사용재료

본 실험에서 사용된 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 골재의 경우는 국내산 강모래와 부순 굵은 골재를 사용하였으며, 블랙콘크리트 제조에 사용된 CASB-SP는 국내에서 제조된 것으로 각 재료의 물리적 성질은 Table 3~5와 같다.

Table 3. Physical properties of cement

Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	Soundness (%)	Setting time (min)		Compressive strength (MPa)		
			Initial set	Final set	3 days	7 days	28 days
3.15	3 303	0.08	226	409	23.1	30.8	42.8

Table 4. Physical properties of aggregates

Aggregates	F · M	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	Passing 0.08 mm sieve (%)
River sand	2.57	2.59	1.58	1.44
Coarse aggregate	6.38	2.61	1.11	0.10

Table 5. Physical properties of CASB-SP

Main ingredient	Density (g/cm ³)	pH	Solid contents (%)
Polycarbonic acid, Carbon Black	1.33	7.12	26

2.3 실험방법

본 연구에서 블랙콘크리트의 제조는 KS F 4009에 의거, 레미콘사 Batcher Plant를 이용하여 생산하였다.

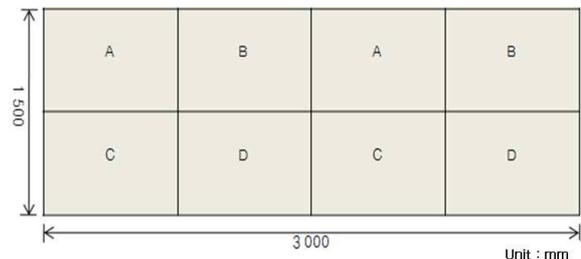


Figure 2. Preparation of mock up specimen

실구조체 실험방법으로 모의부재의 제작은 3 000 × 1 500 × 40 mm 의 벽체 사이즈로 제작하였다.

모의부재의 발수제 도포의 경우는 Figure 2와 같이 모의 부재를 8등분 하여 A면은 무도포의 경우로 하고 발수제 종류별로 B면은 에폭시, C면은 실리콘계, D면은 폴리실리카 수지를 이용하여 도포하였으며, 발색도 측정의 경우는 콘크리트의 색상에 대한 규정으로 명시된 바가 없어 KS A 0066 물체색의 측정 규정에 의거하여 일본 K사의 분광측색계 (CM-255d)를 사용하여 측정명도와 색좌표에 의해 발색정도를 평가하였다. 전반적인 실험모습은 Figure 3과 같다.

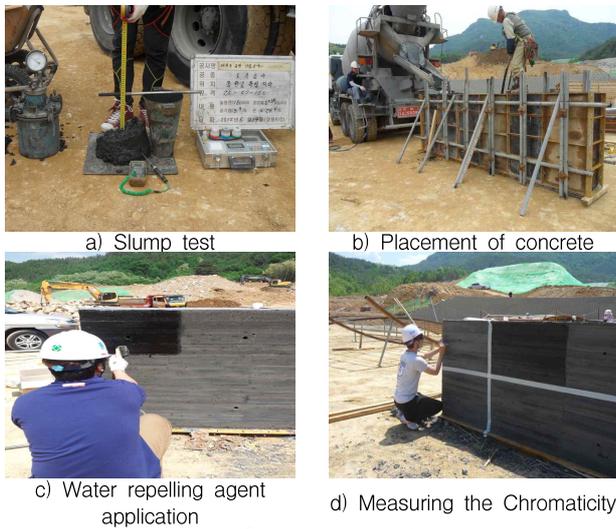


Figure 3. Mock-up specimen

3. 실험결과 및 분석

Table 6은 Mock up Test 실험 중 굳지않은 콘크리트의 실험 결과를 나타낸 것이다. 현장반입 품질 실험결과 슬럼프와 공기량은 목표수준을 만족하는 것으로 나타났으며 응결시간의 경우 초결 12시간 종결 14시간으로 선행연구 실험과 유사하게 나타났다.

Table 6. Mock-up test results of fresh concrete

Measuring items	Measured value	
Slump (mm)	180	
Air content (%)	3.3	
Setting time (h)	Initial set	Final set
	12	14

Table 7 및 Figure 4, 5는 Mock up Test 실험에서 경

화 콘크리트의 실험 결과를 나타낸 것이다. 먼저 압축강도의 경우 28일 재령에서 39.7 MPa로 설계기준 강도를 상회하는 것으로 나타났는데, 나노입자인 CASB의 모세관 공극 충전 효과[3]에 의해 압축강도가 호칭강도보다 크게 향상된 것으로 사료된다. 발색도의 경우 무도포는 백화현상으로 가장 큰 값을 나타내어 회색을 띄는 반면, 발수제를 도포한 경우는 검정색을 나타내었고, 발수제 종류별로는 실리콘과 폴리실리카의 경우보다 에폭시일 경우가 가장 작은 값으로 측정되어 짙은 검정색을 나타내었는데, 재령 경과에 따라 약간씩 큰 값으로 변하기는 하지만 실리콘에서 가장 크고, 폴리실리카가 다음이며, 에폭시 수지는 변화 경향이 가장 작았다.

Table 7. Mock-up test results of hardened concrete

Measuring items	Measured value				
	3 days	7 days	28 days	91 days	
Compressive strength (MPa)	17.9	24.3	39.7	45.6	
	Plain	53.1	53.8	54.3	54.6
Chromaticity (L*)	Epoxy	29.6	29.5	30.8	31.2
	Poly silica	38.2	39.4	41.0	42.4
	Silicone	38.7	39.5	42.4	46.3

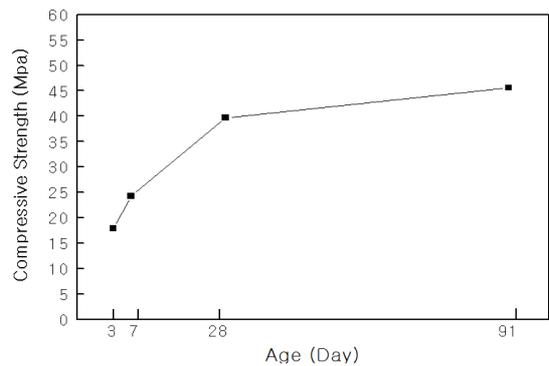


Figure 4. Compressive strength with age

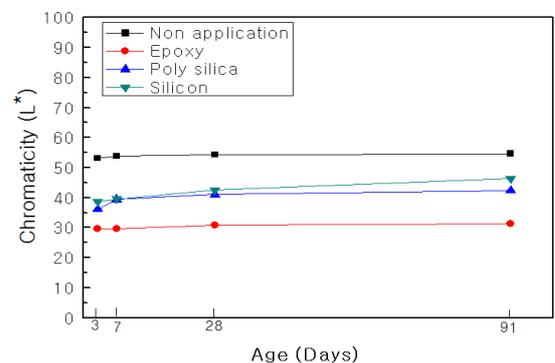


Figure 5. Chromaticity with age

따라서, 현장 적용시의 백화현상 방지 및 우수한 색상발현 및 유지를 위해 에폭시 발수제를 도포하는 것으로 결정하였다.

4. 블랙콘크리트 현장적용

4.1 현장개요

Table 8은 현장 개요를 나타낸 것이고, Figure 6은 현장 조감도를, Fig. 7은 현장적용 구조물을 나타낸 것이다.

Table 8. Brief summary of the project

Project title	Taekwondo-won project
Location	Muju, Chonbuk, Korea
Duration	6th of July, 2009 ~ 30th of June 2013
Budget	2 113 hundred million won
Land area	879 273 m ²
Gross floor area	68 850 m ²
Facilities	Body zone - Culture 및 Arena Mind zone - Education center Spirit zone - Education center



Figure 6. Aerial view



Figure 7. Structure application

4.2 현장적용 계획

Table 9는 무주 태권도원 현장 중복식 아치교 교량의 현장시공 계획표를 나타낸 것이다.

먼저, 레미콘의 경우에는 25-27-180 규격의 현장 인근의 L사 레미콘 공장에서 생산한 제품을 사용 하였으며, 현장 도착 기준으로 목표 공기량은 4.5 ± 1.5 %를 만족하도록 계획하였으며 거푸집 탈형 후에는 백화방지를 위하여 발수제로 에폭시 수지를 도포하는 것으로 하였다.

품질관리 사항으로는 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 공기량, 염화물량을 측정하는 것으로 하였고, 경화콘크리트에서는 재령경과에 따른 압축강도 및 발색도를 측정하였다.

Table 9. Experimental plan of Field application

	Factors	Levels
Mixing factors	Ready-mixed concrete specification	25-27-180
	Air content (%)	4.5±1.5
	CASB-SP dosages ¹⁾ (%)	0.50 %
	Water repelling agents	Epoxy
Experiment	Fresh concrete	Slump Air content chloride content Setting time
	Hardened concrete	Compressive strength (3, 7, 28, 91 days) Chromaticity (7, 28, 91 days)

1) Composition of CASB-SP=CASB(20):Superplasticizer(6):Water(74)



a) Quality test of concrete



b) Placement of concrete



c) Form removal



d) Measuring Chromaticity

Figure 8. Manufacturing process of field application

4.3 현장적용 방법

현장적용 시공의 실험방법으로 레미콘 반입시 로트(lot) 별로 100 m³ 당 1회의 품질실험을 실시하였고, 펌프카 압송을 통해 현장 교량에 타설하였다. Figure 8은 레미콘 반입 품질실험과 타설 전경을 나타낸 것이다.

발색도의 경우에는 타설 후 3일간 양생을 진행한 후 거푸집을 탈형한 후에 에폭시 수지계 발수제를 도포한 후에 재령경과에 따라 발색도를 측정하였다.

4.4 현장적용 결과 및 분석

Table 10은 CASB를 혼입한 블랙콘크리트를 품원교 및 흑원교에 현장 적용한 실험결과를 나타낸 것이다.

품원교 및 흑원교에 적용한 블랙콘크리트의 굳지않은 상태의 특성으로 슬럼프, 공기량 및 염화물량은 배합설계에 의해 모두 목표치를 만족하였으며, 응결시간의 경우도 초결 12시간, 종결 14시간으로 선행실험과 유사한 결과로 나타났다.

Table 10. Report on the field application test

Measuring items	Measured value			
	Poomwon Bridge		Heukwon Bridge	
Slump (mm)	175	180		
Air content (%)	3.5	3.7		
Chloride content (kg/m ³)	0.08	0.09		
Setting time (h)	Initial set	Final set	Initial set	Final set
	12	14	12	14

경화 콘크리트의 특성으로 Figure 9는 재령경과에 따른 교량별 압축강도를 나타낸 것이다. 28일 재령에서 설계기준 강도 27 MPa를 상회하였고, 91일 재령에서는 40 MPa 전후로 높은 강도를 나타내었는데 이는 CASB의 나노입자가 모세관 공극 충전효과에 기인한 것으로 사료된다.

Figure 10은 품원교 및 흑원교의 재령경과에 따른 발색도를 나타낸 것이다. 발색도의 경우 명도 값은 타설위치와 관계없이 모두 30 L*의 옅은 검정색으로 양호한 발색도를 나타냈는데, 이는 CASB-SP를 사용하였을 경우 CASB 입자가 SP제로 인하여 개질됨으로써 콘크리트에 내부로 CASB가 양호하게 분산되었기 때문으로 사료된다. 재령 경과에 따른 백화현상이 일어나지 않고 유사한 명도 값을 나타내는 것을 확인 할 수 있었다.

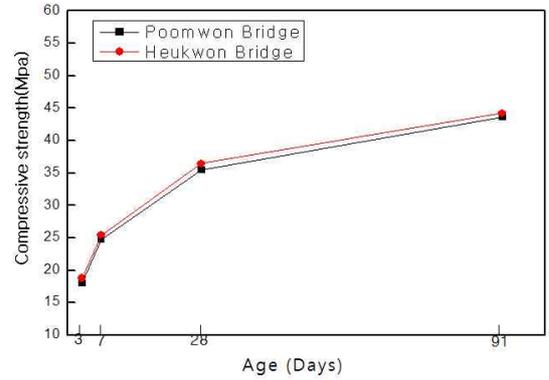


Figure 9. Compressive strength with age

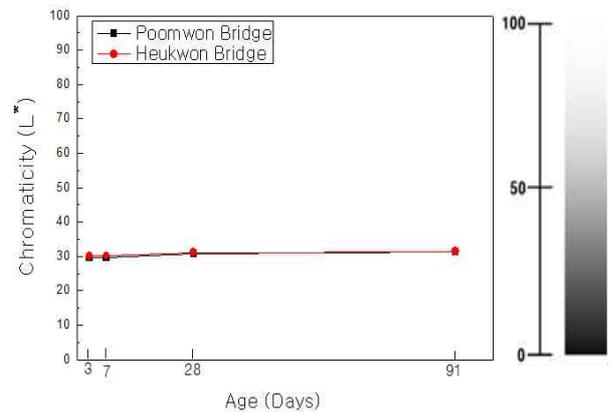


Figure 10. Chromaticity with age

4.5 경제성 분석

Table 11. Material costs for black concrete

Division	Unit cost	Existing Black concrete		CASB-SP applying Black Concrete Technology	
		Usage	Cost	Usage	Cost
Cement (kg)	72	374	26 928	374	26 928
Coloring agent (kg)	4 300	22.4	96 320	-	-
Sand (kg)	14	799	11 186	851	11 914
Gravel (kg)	17	996	16 932	941	15 997
Superplasticizer (g)	750	5.6	4 200	-	-
CASB-SP (g)	4 500	-	-	11.6	52 200
Based raw materials (won)			155 566		107 339

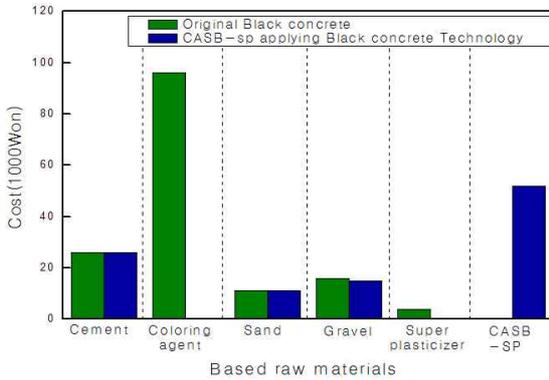


Figure 11. Comparison of material cost

경제성 분석으로 Table 11은 기존의 블랙콘크리트와 CASB-SP를 이용 개발블랙콘크리트 간의 원 재료비를 비교한 표이고, Figure 11은 원 재료비 원가 비교를 막대 그래프로 나타낸 것이다. 우선 본 현장에 총 콘크리트 타설물량은 870 m³이고, CASB-SP의 경우 혼화제와 안료의 일체형 제품으로 사용량이 증가할수록 분산성능이 향상되어 단위수량 저감이 가능하여 강도, 균열저감 및 내구성 향상에 효과적이다. 또한, 기존의 공법은 레미콘 공장에서 분말형의 안료를 수동으로 투입하여 제조하는데 따른 사전준비에 인력과 시간이 필요한 반면 해당 기술은 레미콘 공장의 기존 혼화제 설비를 이용하여 시간과 인력투입을 절약할 수 있는 장점이 있다.

기존공법은 고가의 착색재를 다량 사용하고, 소요성능을 만족하기 위해 고성능감수제의 사용량이 증가하여 비경제적인 단점이 있는 반면 본 연구의 공법은 우수한 분산성능으로 동일한 색상을 구현하는데 재료의 사용량을 저감할 수 있으며 혼화제를 병용사용하지 않아 기존 기술대비 30 % 정도의 원가절감 효과가 있는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 선행 연구 사례를 토대로 실무 현장에 적용하기 위하여 Mock up Test를 실시함으로써 블랙콘크리트의 물성변화와 발색특성을 분석한 다음, 이 결과를 실제로 현장에 적용하는 것을 연구의 대상으로 하였는데 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) Mock up test 결과 굳지않은 상태 및 경화콘크리트에서 목표한 양호한 품질을 만족하였고, 블랙콘크리트로서의 백화를 방지하면서 색상유지는 발수제로 에폭시,

폴리실리카, 실리콘의 순으로 양호하게 나타나 에폭시계 발수제를 현장적용하는 것으로 결정하였다.

- 2) 현장적용결과 굳지않은 상태의 슬럼프, 공기량, 염화물량 및 응결시간은 특이사항 없이 보통콘크리트와 유사하였고, 압축강도는 나노사이즈의 CASB가 모세관공극을 충전함으로써 호칭강도 27 MPa의 경우 재령 28일에서 35 MPa 이상, 91일 재령에서는 40 MPa 이상 양호한 강도 값을 나타내었고, 색상 또한 양호한 검정색을 발휘함을 확인 할 수 있었다.
- 3) 기존 카본블랙 분말을 이용하는 블랙콘크리트와 비교하여 본 CASB-SP를 이용하는 블랙콘크리트 방법은 레미콘 생산시 편리성에, 유동성, 강도 및 내구성등 품질향상 및 경제성면으로도 30 % 정도 저렴하여 우수한 효과를 확인 할 수 있었다.

요 약

최근에는 생활수준 향상으로 인간친화적인 공간창조 등의장적인 측면에서 다양한 요구가 나타나고 있다. 본 연구에서는 무주태권도원의 2개의 블랙콘크리트 교량에 기존연구에서 얻어진 카본아미노실리카블랙 고성능 감수제(CASB-SP)를 적용하기 위한 Mock up test와 현장적용 사항에 대하여 보고하고자 하였다. Mock up test 결과 일반적인 품질 항목은 양호하게 나타났고, 백화방지와 관련한 발수제 도포는 에폭시계가 가장 양호한 것으로 나타나 현장 적용에 활용하였다. 현장적용 결과 역시 기초적 특성은 모두 양호 하였고, 검정색 색상구현도 양호하였는데, 기존의 카본블랙 분말 색소를 이용하는 경우보다 시공성, 품질 모두 양호하면서 30 % 정도의 저렴한 경제성도 확인할 수 있었다.

키워드 : 카본블랙, CASB, 블랙콘크리트, 착색재

References

1. Ryu HK, Kwan YJ. An Analysis on the Properties of Concrete Used as the Mixture Material with Carbon Black, The Korea Institute of Building Construction, 2010 April;10(2):59-67.
2. Han CG, Yoo SY. Analysis of the Effect of Superplasticizer combined CASB on Ultra High Strength Mortar and Concrete

-
- Using Mineral Admixture. Journal of the Korea Recycled Construction Resource Institute, 2011 March;6(1):72-9
3. Han JS. An Improvement Method on the Using Problem of the Ground Granulate Blast-Furnace Slag as a Concrete Admixture in Ready-Mixed Concrete Plant. Journal of Architectural Institute of Korea, 2003 March;15(2):6-7.
 4. Han CG, Yoo SY. Property Analysis of the Ultra High Strength Cement Paste Using Mineral Admixtures Depending on the Contents of CASB. Journal of Architectural Institute of Korea, 2011 April;24(4):105-10.