

콘크리트 포장의 파손형태와 평탄성의 관계

Relationship between Distress and Roughness in Concrete Pavement

김진선* · 조윤호** · 서영찬***

1. 서론

도로포장의 상태를 평가하여 유지·보수하는 도로관리자는 도로 이용자에게 포장의 공용 서비스를 적정수준으로 제공하여야만 한다. 따라서 포장의 상태를 합리적이고 객관적인 방법으로 평가하는 방법으로 다양한 포장평가지수가 개발되었고, 이들은 균열과 평탄성을 중요한 인자로 고려하고 있다. 예를 들어, 콘크리트 포장의 AASHO도로실험의 경우 서비스지수는 이용자 관점에서의 변수인 평탄성과 관리자 입장의 변수인 포장 파손의 함수로 표현된다. 그러나 각각이 독립변수인 두 변수 사이의 상관관계는 연구가 미비한 실정으로 두 독립변수 사이의 독립관계를 확인하는 것이 필요하다. 이와 같은 연구는 콘크리트 포장에서 평탄성만으로 포장의 상태를 평가할 수 있는가에 대한 의문을 해결해 줄 수 있을 것이다. 따라서 공용 13년이 지난 중부고속도로 상행선에서 조사된 표면상태 자료('99. 8)와 평탄성 자료('00. 2)를 이용하여 두 변수들 사이의 상관관계를 분석하였다.

2. 파손상태(Condition Survey)

표면조사는 포장의 파손을 평가하는 작업으로 육안 조사와 장비 조사로 나눌 수 있다. 중부고속도로는 육안 조사로 전 구간에 걸쳐 행해졌다. 파손 형태는 아래의 표 1과 같이 줄눈콘크리트 포장(JCP)의 16가지와 연속철근 콘크리트(CRCP)의 14가지로 분류하여 조사하였다.

중부고속도로 파손상태에 따라 JCP구간에서는 31개 구간을 CRCP구간에서는 50개의 구간을 동질성 구간으로 선정하였다. 다음의 표 2과 표 3은 각각 JCP와 CRCP의 동질성구간을 나타내 주는 표로써 파손종류에 따라 단위 km로 정리한 결과이다.

* 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · 02-816-0251(E-mail:jskim@ms.cau.ac.kr)

** 정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 조교수 · 공학박사 · 02-820-5336
(E-mail:yhcho@cau.ac.kr)

*** 정회원 · 한양대학교 교통공학과 부교수 · 공학박사 · 031-400-5155
(E-mail:suhyc@email.hanyang.ac.kr)



표 1. 포장의 파손 분류

Type	Distress Type	
	JCP(16)	CRCP(14)
Cracking	Corner Breaks	-
	D Cracking	D Cracking
	Longitudinal Cracking	Longitudinal Cracking
	Transverse Cracking	Transverse Cracking
Joint Deficiencies	Joint Seal Damage	-
	Spalling	-
Surface Defects	Map Cracking	Map Cracking
	Scaling	Scaling
	Polished Aggregates	Polished Aggregates
Miscellaneous Distress	Popout	Popout
	Blow-up	Blow-up
	Faulting	PunchOuts
	Patching Deterioration	Patching Deterioration
	Pumping	Pumping
	-	Longitudinal Joint Spalling
	Lane to Shoulder Drop-Off	Lane to Shoulder Drop-Off
	Lane to Shoulder Separation	Lane to Shoulder Separation

표 2. 중부고속도로 상행선의 JCP구간 파손상태 예시

Section (North Bound)	Length (km)	Percentage of slabs cracked (%)	Corner Breaks (#/km)	Longitudinal Cracking (#/km)	Transverse Cracking (#/km)	Joint Seal Damage (#/km)	Spalling (#/km)	Polished Aggregates (m ² /km)	Popout (#/km)	Patching Deterioration (m ² /km)
(1) 11km-12km	0.150	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.33	0.00	0.00	0.00
(2) 12km-13km	0.330	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.03	0.00	3.03	9.09
(3) 15km-16km	0.500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	0.00	0.00
(4) 16km-17km	0.895	0.66	0.00	0.00	2.23	1.12	5.59	0.00	2.23	16.76
(5) 17km-18km	0.870	6.80	0.00	0.00	8.05	3.45	4.60	0.00	0.00	31.03
(6) 19km-20km	1.000	14.29	0.00	1.00	21.00	6.00	9.00	0.00	1.00	2.20
(7) 20km-21km	1.000	30.29	0.00	0.00	60.00	2.00	3.00	0.00	0.00	0.80

표 3. 중부고속도로 상행선의 CRCP 파손상태 예시

Section (North Bound)	Length (km)	Longitudinal Cracking (#/km)	Map Cracking (#/km)	Polished Aggregates (m ² /km)	Popout (#/km)	Scaling (#/km)	Patching Deterioration (m ² /km)	Longitudinal Joint Spalling (#/km)
(1) 34km-35km	1.000	13.00	2.00	175.00	3.00	6.00	0.00	21.00
(2) 35km-36km	1.000	11.00	6.00	269.50	1.00	1.00	0.00	22.00
(3) 36km-37km	0.830	14.46	3.61	174.30	4.82	6.02	0.60	14.46
(4) 39km-40km	0.500	0.00	0.00	12.00	2.00	0.00	0.00	6.00
(5) 42km-43km	0.600	3.33	3.33	74.00	6.67	6.67	0.00	5.00
(6) 43km-44km	1.000	0.00	0.00	25.00	1.00	3.00	0.00	8.00
(7) 44km-45km	0.850	7.06	0.00	0.00	2.35	2.35	1.76	29.41

3. 평탄성(Roughness)

종단 평탄성은 차량 진행방향의 노면 요철을 의미하며, 종단방향의 요철 정도를 측정하여 차량 주행시 승차감에 크게 영향을 주는 도로의 평탄성을 정량화하고자 하는 것이다. 과거에 브라질에서 국



제도로 평탄성 실험(IRRE, International Road Roughness Experiment)을 수행하여 각종 평탄성 지수 중에서 대부분의 측정기로 결과를 도출할 수 있고 자동 측정장비간에 상관관계가 가장 잘 성립되는 표준 평탄성지수로 IRI를 제안하게 되었다. IRI는 전문용어로 평균정류경사(Average Rectified Slope)라고 하여 기준간격으로 읽어들이는 각각의 data point(또는 level point)에서의 정류경사를 합산하여 평균한 값으로, 그 단위는 m/km(mm/m) 또는 in/mi로 표시된다. 이것은 자동차 차대의 수직운동 누적값(in 또는 m단위)을 주행한 거리(mi 또는 km)로 나눈 값을 의미한다.

표 4. 졸논콘크리트 포장(JCP)의 동질성구간에 대한 IRI의 평균과 분산

Section (North Bound)	Length (km)	IRI		Section (North Bound)	Length (km)	IRI	
		Mean	Std. D			Mean	Std. D
(1) 11km-12km	0.150	1.80	1.00	(17) 83km-84km	0.550	1.27	0.88
(2) 12km-13km	0.330	0.81	0.34	(18) 84km-85km	0.740	1.25	1.01
(3) 15km-16km	0.500	1.42	0.90	(19) 85km-86km	0.500	1.21	0.72
(4) 16km-17km	0.895	1.39	0.90	(20) 86km-87km	0.550	1.40	0.98
(5) 17km-18km	0.870	1.13	0.64	(21) 87km-88km	1.000	1.43	1.39
(6) 19km-20km	1.000	1.95	1.62	(22) 88km-89km	0.500	0.98	0.86
(7) 20km-21km	1.000	2.60	2.22	(23) 90km-91km	0.550	1.91	1.08
(8) 21km-22km	0.715	1.75	1.05	(24) 92km-93km	0.550	1.80	1.73
(9) 22km-23km	0.500	1.58	1.02	(25) 93km-94km	1.000	1.27	1.05
(10) 25km-26km	0.500	0.97	0.55	(26) 95km-96km	0.390	1.09	0.77
(11) 26km-27km	0.440	2.24	2.03	(27) 96km-97km	0.940	1.33	1.22
(12) 27km-28km	0.500	2.18	1.48	(28) 98km-99km	0.650	1.09	0.66
(13) 28km-29km	0.500	1.49	1.09	(29) 99km-100km	0.550	1.20	0.85
(14) 29km-30km	1.000	1.38	0.89	(30) 101km-102km	0.825	1.06	0.65
(15) 30km-31km	0.500	1.43	0.77	(31) 102km-103km	0.760	1.20	1.17
(16) 31km-32km	0.175	1.15	0.75				

표 5. 연속철근콘크리트 포장(CRCP)의 동질성구간에 대한 IRI의 평균과 분산

Section (North Bound)	Length (km)	IRI		Section (North Bound)	Length (km)	IRI	
		Mean	Std. D			Mean	Std. D
(1) 34km-35km	1.000	1.54	1.24	(26) 67km-68km	1.000	1.19	1.00
(2) 35km-36km	1.000	1.91	1.29	(27) 68km-69km	0.810	0.91	0.54
(3) 36km-37km	0.830	1.44	1.06	(28) 69km-70km	0.500	0.90	0.74
(4) 39km-40km	0.500	1.24	0.74	(29) 71km-72km	0.430	0.90	0.68
(5) 42km-43km	0.600	1.38	0.87	(30) 72km-73km	1.000	1.11	0.97
(6) 43km-44km	1.000	1.46	1.25	(31) 73km-74km	0.710	1.38	1.62
(7) 44km-45km	0.850	1.35	0.89	(32) 74km-75km	0.650	1.11	1.29
(8) 45km-46km	0.355	2.09	2.05	(33) 75km-76km	1.000	1.19	1.20
(9) 46km-47km	0.500	1.18	0.77	(34) 76km-77km	0.930	0.86	1.12
(10) 47km-48km	1.000	1.33	0.92	(35) 77km-78km	1.000	0.72	0.41
(11) 48km-49km	1.000	1.37	0.96	(36) 78km-79km	0.500	1.16	0.99
(12) 49km-50km	1.000	1.07	0.76	(37) 79km-80km	1.000	0.88	0.95
(13) 50km-51km	0.500	1.44	0.83	(38) 80km-81km	1.000	1.27	1.28
(14) 52km-53km	0.650	1.41	1.18	(39) 81km-82km	0.360	1.39	1.44
(15) 54km-55km	0.730	1.05	0.67	(40) 104km-106km	0.925	1.31	0.75
(16) 55km-56km	0.950	0.95	0.54	(41) 105km-106km	1.000	1.08	0.57
(17) 56km-57km	0.250	1.21	0.67	(42) 106km-107km	0.920	1.07	0.79
(18) 58km-59km	0.300	0.99	0.57	(43) 107km-108km	0.100	0.81	0.48
(19) 59km-60km	0.500	1.35	0.92	(44) 108km-109km	0.700	0.83	0.53
(20) 60km-61km	0.265	1.66	1.42	(45) 109km-110km	0.750	1.10	0.91
(21) 61km-62km	0.340	1.16	0.76	(46) 111km-112km	0.420	0.70	0.30
(22) 62km-63km	0.820	1.02	0.64	(47) 112km-113km	0.430	1.03	0.53
(23) 63km-64km	1.000	1.28	0.95	(48) 113km-114km	0.470	1.19	0.85
(24) 64km-65km	1.000	1.56	0.95	(49) 114km-115km	1.000	1.87	0.90
(25) 66km-67km	0.240	1.10	0.61	(50) 115km-116km	0.850	1.01	0.72



중부고속도로의 평탄성 조사는 ARIA(Automated Road Image Analyzer)를 사용하여 교통량이 더 많고 파손이 더 심각하다고 판단되는 상행선만이 조사되었다. 전체적으로 JCP구간에서는 1.36mm/m, CRCP구간에서는 1.19mm/m로 중부고속도로의 상태는 양호한 것으로 나타났다.

다음의 표 4과 5는 중부고속도로 상행선의 JCP구간 31개와 CRCP구간 50개에 대한 IRI의 평균과 분산을 나타낸 것이다.

4. 파손형태와 평탄성의 관계

4.1 줄눈콘크리트 포장(JCP)

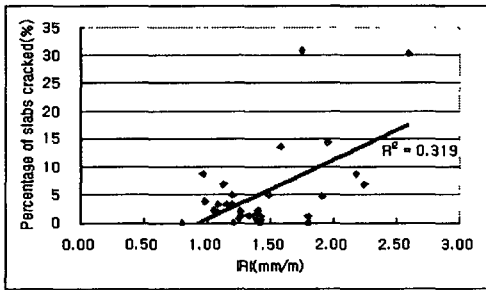


그림 1. 균열판율과 IRI의 관계

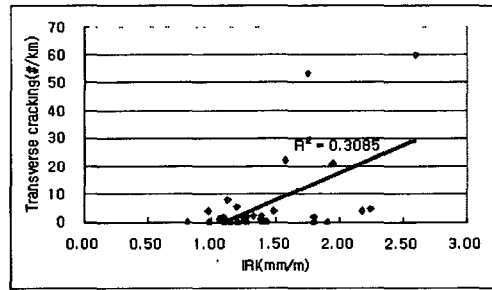


그림 2. 횡방향균열과 IRI의 관계

줄눈콘크리트 포장(JCP)의 경우, 그림 1에서 보는바와 같이, 균열판율(Percentage of slabs cracked)과 IRI와의 관계가 $R^2=0.319$ 로 가장 크게 나타났으며, 그림 2의 횡방향균열과 IRI와의 관계가 $R^2=0.3085$ 로 나타났다. 그러나, 다른 파손형태(우각부 균열, 종방향 균열, 줄눈재 파손, 스폴링, Popout, 패칭)과는 큰 관계가 없는 것으로 나타났다. 이는 다른 파손형태가 profile 조사계획에 포함되지 않을 확률이 높고 파손형태의 갯수도 작아서 통계적 유의성을 가지지 못한 것으로 판단된다.

4.2 연속철근콘크리트 포장(CRCP)

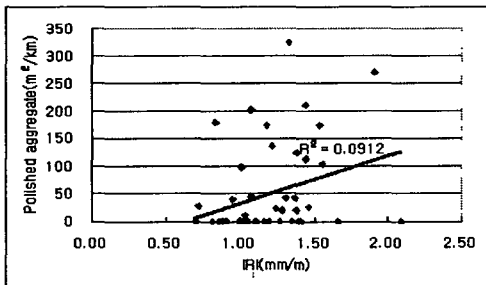


그림 3. 골재마모와 IRI의 관계

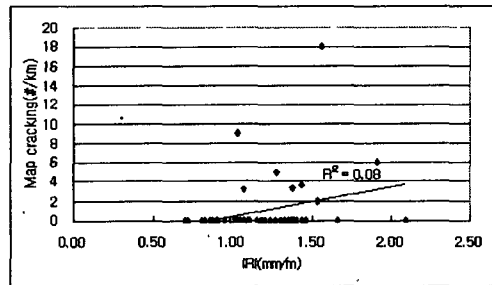


그림 4. 맵균열과 IRI과의 관계



연속철근콘크리트 포장(CRCP)에서도 종방향 균열, 망상 균열, 골재 마모, Popout, 스케일링, 패칭, 종방향 줄눈 스펠링 등과의 상관관계를 분석해 보았으나 매우 미미한 관계의 양상을 보였다. 이는 CRCP에서는 철근배치로 인하여 횡방향 균열이 큰 구조적 문제를 일으키지 않으며, 조사된 파손형태 별 갯수도 역시 많지 않기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결 론

중부고속도로와 같이 평탄성 및 파손평가가 양호한 도로에서 표면조사의 파손형태와 IRI간의 상관관계를 분석해 본 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

줄눈콘크리트 포장(JCP)

균열판율(Percentage of slabs cracked)과 횡방향 균열은 IRI와의 약간의 상관관계가 보였다. 균열판율과 IRI에서는 결정계수가 0.3190 정도로 나타났으며, 횡방향 균열과 IRI의 관계에서는 0.3085 정도로 나타났다. 이는 평탄성 측정 장비가 지나가는 profile 조사궤적에 횡방향 균열과 균열판율이 영향을 주어서 발생한 것으로 판단된다. 다른 파손형태와 IRI는 관계가 없는 것으로 파악됐다.

연속철근콘크리트 포장(CRCP)

모든 종류의 파손형태(종방향 균열, 망상 균열, 골재 마모, Popout, 스케일링, 패칭, 종방향 줄눈 스펠링)와 IRI와는 상관관계가 나타나지 않았다. 이는 중부고속도로의 상태가 양호하기 때문으로 판단된다.

전체적으로 콘크리트 포장의 파손상태를 객관적으로 평가하는 방법에서 평탄성만을 이용한 정량화는 콘크리트 포장의 상태를 정확히 반영하지 못한다. 따라서 평탄성과 더불어 포장파손을 함께 고려하여야 한다.

참고문헌

1. Strategic Highway Research Program, "Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Studies", 1990. 10
2. M. Y. Shahin, "Pavement Management or Airports, Roads and Parking Lots, Chapman & Hall, 1994
3. American Association of State Highway and Transportation Officials, "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures", 1993
4. 김성호, "중부고속도로 평탄성 특성에 관한 연구", 한양대학교 석사학위논문, 2000. 6